

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL  
MERCADO DE LOS PANELES SOLARES EN CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**VALERIA ANDREA VILABOA MARTÍNEZ**

**PROFESOR GUÍA:  
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JORGE CARIKEO MONTOYA  
GASTÓN HELD BARRANDEGUY**

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2009**

*A mis papas y mi hermano.*

## Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia por haberme apoyado, aconsejado y ayudado en todo momento. A mis padres por su constante apoyo, preocupación y cariño brindado durante toda mi vida. A mi mamá por sus enseñanzas, consejos y por darme la fortaleza para cumplir mis metas. A mi papá por su ayuda incondicional. A mi hermano por su constante disposición. A mis tíos por sus consejos y a mi pololo por su compañía, preocupación, ayuda y comprensión.

Gracias a todos ustedes por acompañarme en los momentos importantes de mi vida.



RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL  
POR: VALERIA VILABOA M.  
FECHA: 13/04/09  
PROF. GUIA: SR. ENRIQUE JOFRÉ R.

## **ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO DE LOS PANELES SOLARES EN CHILE**

La radiación solar puede ser aprovechada en forma de calor o de electricidad. El calor se aprovecha mediante paneles solares térmicos y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos. Chile es un país privilegiado gracias a su ubicación geográfica, ya que tiene altos índices de radiación solar, la que puede ser aprovechada en un gran porcentaje de su superficie. Por otra parte, el país depende fuertemente de la importación de insumos energéticos cuyos precios presentan una fuerte tendencia al alza. Lo anterior hace que surjan atractivas diferentes alternativas de energías no convencionales, como lo es el caso de la energía solar.

Dada la falta de información de este mercado en Chile es que el presente trabajo tiene por objetivo analizar y caracterizar el mercado de los paneles solares en el país para conocer las oportunidades de negocio y proyectar el mercado a mediano plazo.

Para cumplir con este objetivo, se realiza un listado de las empresas chilenas vinculadas al rubro de los paneles solares, para luego, mediante encuestas, obtener información relevante para analizar este mercado. Posteriormente, se realiza un estudio de viabilidad económica para conocer la rentabilidad de la utilización de paneles solares en el sector residencial. Finalmente, se realiza una proyección de la demanda a través de métodos cuantitativos y cualitativos, como son regresiones matemáticas y el método Delphi, ajustando los valores obtenidos de acuerdo a conceptos del ciclo de vida del producto.

El panel solar térmico ha alcanzado valores competitivos desde la XI región del país al norte, amortizándose en un período inferior a 5 años en la RM si se compara con la utilización de gas licuado, obteniendo un VAN de \$1.000.000 en 20 años con una tasa de descuento del 12%. No así para el panel fotovoltaico, que tiene un retorno negativo en todas las regiones del país para el sector residencial. En cuanto a la oferta, se tiene que el 83% de las empresas son micro o pequeñas, en un mercado que se encuentra bastante concentrado. La mayor demanda existe en la zona central (63%) seguida del Norte Grande (23%) en el año 2007, año en el cual se instalaron 6.300 m<sup>2</sup> en Chile; un 60% de aumento en comparación al año 2006, sumando una superficie total de 11.100 m<sup>2</sup>. Se espera un aumento de un 40% anual para los próximos 5 años, pronosticando que la demanda aumente a 70.000 m<sup>2</sup>/año en el 2020.

Se puede concluir que el mercado de los paneles solares en Chile tiene un gran potencial de crecimiento y existen numerosos sectores de alta rentabilidad que aún no han sido explotados. Es necesario realizar mejores esfuerzos de marketing, tales que permitan aprovechar mejor el negocio de la energía solar en todas las zonas del país donde es rentable su utilización.

# Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b> .....	<b>5</b>
3.1	PANEL SOLAR TÉRMICO.....	5
3.2	PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	6
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	8
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>ALCANCES</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA</b> .....	<b>11</b>
7.1	VIABILIDAD ECONÓMICA: PANEL SOLAR TÉRMICO.....	11
7.2	VIABILIDAD ECONÓMICA: PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.....	19
<b>8</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA</b> .....	<b>22</b>
8.1	LISTADO DE EMPRESAS.....	22
8.2	ENCUESTA.....	22
8.3	DESCRIPCIÓN DE LA OFERTA.....	23
8.4	CONCENTRACIÓN DE MERCADO.....	30
8.5	ANÁLISIS FODA.....	32
<b>9</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA</b> .....	<b>33</b>
9.1	DEMANDA ACTUAL.....	33
9.1.1	<i>Mercado Potencial absoluto: Panel solar Térmico</i> .....	33
9.1.2	<i>Mercado Potencial absoluto: Panel solar Fotovoltaico</i> .....	35
9.2	DESCRIPCIÓN DE LA DEMANDA.....	37
9.3	DEMANDA PROYECTADA.....	44
9.3.1	<i>Proyección: panel solar térmico</i> .....	44
9.3.2	<i>Proyección: panel solar fotovoltaico</i> .....	51
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>54</b>
10.1	CONCLUSIONES GENERALES.....	54
10.2	RECOMENDACIONES.....	56
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>57</b>
<b>12</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>58</b>
12.1	ANEXO 1: RADIACIÓN SOLAR PARA LAS REGIONES DEL PAÍS.....	58
12.2	ANEXO 2: PRECIO GAS LICUADO.....	58
12.3	ANEXO 3: PRECIO ELECTRICIDAD.....	60
12.4	ANEXO 4: AMORTIZACIÓN ANTE VARIACIONES DE GLP EN RM.....	60
12.5	ANEXO 5: AMORTIZACIÓN ANTE VARIACIONES EN EL PRECIO DE LA ENERGÍA PARA REGIONES.....	61
12.6	ANEXO 6: DETALLE DEL SUBSIDIO A PANELES SOLARES TÉRMICOS.....	61
12.7	ANEXO 7: LISTADO DE EMPRESAS.....	62
12.8	ANEXO 8: ENCUESTA.....	64
12.9	ANEXO 9: CANTIDAD DE M <sup>2</sup> NECESARIOS PER CÁPITA SEGÚN MES PARA RM.....	69
12.10	ANEXO 10: PREDICCIÓN DE LA ELECTRICIDAD CONSUMIDA AL AÑO 2020 EN CHILE.....	69
12.11	ANEXO 11: PROYECCIÓN SUPERFICIE PANEL SOLAR TÉRMICO, DISTINTOS MODELOS.....	70
12.12	ANEXO 12: ITERACIONES MÉTODO DELPHI.....	70
12.13	ANEXO 13: CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.....	71

## Índice de tablas

Tabla 1: Tipos de paneles solares térmicos. ....	6
Tabla 2: Tipos de paneles solares fotovoltaicos. ....	7
Tabla 3: Pérdidas para panel solar térmico. ....	11
Tabla 4: Radiación absorbida en 6 m <sup>2</sup> para panel solar térmico. ....	12
Tabla 5: Competitividad energía solar en comparación con GLP panel térmico. ....	13
Tabla 6: Competitividad energía solar - GLP y electricidad para panel solar térmico. ....	15
Tabla 7: Amortización ante variaciones en el GLP con un aumento anual de 0,1%. ....	18
Tabla 8: Amortización en diferentes escenarios. ....	18
Tabla 9: Radiación eficiente en 1 m <sup>2</sup> para panel solar fotovoltaico. ....	19
Tabla 10: Competitividad energía solar, panel solar fotovoltaico. ....	20
Tabla 11: Descripción de parámetros para tamaño de muestra. ....	22
Tabla 12: Parámetros para tamaño de la muestra. ....	23
Tabla 13: Índice Herfindahl-Hirschmann ....	30
Tabla 14: Coeficiente de concentración $c_i$ . ....	31
Tabla 15: Cantidad de m <sup>2</sup> necesarios per cápita en RM. ....	33
Tabla 16: Mercado total potencial al año 2020. ....	34
Tabla 17: Estimación de parámetros para proyección de electricidad en Chile ....	35
Tabla 18: Superficie y kWp máximos de paneles fotovoltaicos en Chile año 2020. ....	36
Tabla 19: Resumen del modelo causal para paneles solares térmicos. ....	44
Tabla 20: Coeficientes para el modelo causal de paneles solares térmicos. ....	45
Tabla 21: Resumen del modelo de serie de tiempo para paneles solares térmicos. ....	46
Tabla 22: Error porcentual medio absoluto MAPE, panel solar térmico. ....	46
Tabla 23: Proyección con serie de tiempo para panel solar térmico. ....	47
Tabla 24: Valores de proyección de demanda para panel solar térmico. ....	50
Tabla 25: Resumen del modelo, panel solar fotovoltaico. ....	51
Tabla 26: Coeficientes para modelo causal, panel solar fotovoltaico. ....	51
Tabla 27: Resumen del modelo serie de tiempo para paneles solares fotovoltaico. ....	52
Tabla 28: MAPE en modelo serie de tiempo para paneles solares fotovoltaico. ....	52
Tabla 29: Proyección con de serie de tiempo para panel solar fotovoltaico. ....	53
Tabla 30: Radiación solar diaria. ....	58
Tabla 31: Precio gas licuado, agosto 2008. ....	58
Tabla 32: Valor kWh de empresa distribuidora de electricidad. ....	60
Tabla 33: Sensibilidad de la amortización de panel solar térmico-GLP ....	60
Tabla 34: Topes del beneficio tributario a paneles solares térmicos. ....	61
Tabla 35: Cobertura del subsidio según valor de la vivienda. ....	62
Tabla 36: Listado de empresas de ventas de paneles solares, Chile. ....	63
Tabla 37: Superficien necesaria por persona para los diferentes meses en RM. ....	69
Tabla 38: Detalle proyección al año 2020, superficie panel solar térmico. ....	70
Tabla 39: Varianza para iteraciones de método Delphi. ....	70

## Índice de gráficos

Gráfico 1: Variación del precio de los combustibles. ....	3
Gráfico 2: Repartición de los consumos energéticos, 2007. ....	4
Gráfico 3: Sensibilidad de la amortización panel térmico ante número de personas. ....	16
Gráfico 4: Sensibilidad de la amortización panel térmico ante variaciones de GLP. ....	17
Gráfico 5: Sensibilidad de la amortización panel fotovoltaico ante variaciones del kWh. ....	21
Gráfico 6: Actividad de las empresas vinculadas al rubro de los paneles solares. ....	23
Gráfico 7: Porcentaje de empresas según tamaño por ventas anuales. ....	24
Gráfico 8: Medios de difusión. ....	25
Gráfico 9: Cantidad de empresas según tipo de panel que ofrece ....	25
Gráfico 10: Sector al que se dirige la oferta de paneles solares según. ....	26
Gráfico 11: Distribución del porcentaje de empresas por región en Chile. ....	27
Gráfico 12: Número de empresas por cada 1.000.000 de habitantes por región. ....	27
Gráfico 13: Origen de paneles solares térmicos según monto de importaciones. ....	28
Gráfico 14: Origen de paneles solares FV según monto de importaciones. ....	29
Gráfico 15: Distribución porcentual del monto de importaciones según mes. ....	29
Gráfico 16: Estructura de mercado ....	31
Gráfico 17: Distribución regional de paneles solares térmicos en el año 2007. ....	37
Gráfico 18: Distribución regional de paneles solares fotovoltaicos en el año 2007. ....	38
Gráfico 19: Sectorización de paneles solares térmicos ....	38
Gráfico 20: Distribución panel solar térmico dentro de vivienda particular. ....	39
Gráfico 21: Distribución panel solar térmico para calentamiento de agua sanitaria. ....	40
Gráfico 22: Distribución panel solar fotovoltaico para vivienda particular. ....	40
Gráfico 23: Superficie acumulada de paneles térmicos en Chile hasta año 2007. ....	41
Gráfico 24: Evolución paneles solares térmico instalados en Chile. ....	41
Gráfico 25: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la utilización de paneles térmicos. ....	42
Gráfico 26: Evolución paneles fotovoltaicos instalados en Chile hasta año 2007. ....	43
Gráfico 27: Evolución paneles solares fotovoltaicos instalados por año. ....	43
Gráfico 28: Superficie proyectada en Chile mediante serie de tiempo paneles térmicos. ....	47
Gráfico 29: Superficie proyectada en Chile con método Delphi y serie de tiempo. ....	48
Gráfico 30: Proyección de demanda para panel solar térmico instalada por año. ....	49
Gráfico 31: Proyección de demanda acumulada y emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas. ....	50
Gráfico 32: Potencia proyectada en Chile año 2020 de paneles solares fotovoltaicos. ....	53
Gráfico 33: Sensibilidad de la amortización de panel solar térmico. ....	61
Gráfico 34: Ciclo de vida del producto. ....	71



# 1 Introducción

La radiación entregada por el sol a la tierra podría satisfacer con creces las necesidades energéticas de la población mundial si fuera acumulada de la forma adecuada. Ésta puede ser aprovechada en forma de calor o electricidad mediante paneles solares térmicos o módulos fotovoltaicos respectivamente. Las principales características de la radiación solar son que proviene de una fuente de energía no contaminante, no es peligrosa y es inagotable, además el valor de los quipos que permiten capturarla ha ido progresivamente en decrecimiento, lo que la hace más atractiva competitivamente.

La utilización más frecuente de los paneles solares térmicos es el calentamiento de aguas sanitarias residenciales e industriales, calentamiento de aguas de piscinas y calefacción; los módulos fotovoltaicos se utilizan para la generación de electricidad cuyos usos pueden ser, por ejemplo, abastecer zonas rurales, alimentar estaciones repetidoras, señales de tráfico o tener sistemas conectados a una red de distribución eléctrica.

En el mundo se han producido 2.392 MW acumulados al año 2007 en paneles fotovoltaicos, con un crecimiento del 63% en comparación con 2006 y pronosticándose una producción de electricidad de 2.646 TWh para el año 2030. En el caso de los paneles térmicos, se han producido 15,4 GWth hasta el año 2007 solo en la Unión Europea y Suiza (Wth=Watt térmicos, se usa para referirse a los Watt producidos por paneles solares térmicos), este valor corresponde a una capacidad total en operación de 22 millones de m<sup>2</sup>. Los países que tienen una mayor capacidad conectada a la red para el año 2005 son: Alemania, Japón, Estados Unidos y España; en cuanto a los paneles para el calentamiento de aguas sanitarias se tienen: China, Turquía, Japón y Alemania.

Además existe una preocupación de los gobiernos por fomentar el uso de energías renovables no convencionales (ERNC) y crear consciencia en la población sobre la utilización de energías alternativas para así por un lado disminuir la emisión de gases efecto invernadero y por otro para diversificar la matriz energética. Por ejemplo, en la Unión Europea se espera alcanzar un 21% del consumo de este tipo de energías para el 2010. En Chile cerca del 0,02% de la energía producida en el país es proveniente de una fuente renovable no convencional, principalmente eólico.

La principal limitación que ha impedido una mayor masificación de su uso es la alta inversión en la que hay que incurrir, sin embargo, la disminución de sus costos hace que en la actualidad, en lugares como California o Japón, donde el mercado eléctrico está totalmente liberalizado y el precio del kWh lo marca la demanda, la utilización de energía solar ya sea competitiva sin la necesidad de subsidios.

Este emergente mercado de los paneles solares en Chile necesita de información válida para conocer la situación actual mercado, su evolución y perspectivas de crecimiento, pues es una alternativa energética que cada vez se vuelve más atractiva. Esta información es relevante tanto para empresas particulares vinculadas al rubro de los paneles solares como para entidades de gobierno relacionadas al desarrollo de políticas de eficiencia y sustentabilidad energética, pues las empresas tendrán información que permita conocer las características de la demanda a modo de reducir el riesgo en la planificación del negocio y a las entidades de gobierno para desarrollar políticas de fomento para el uso de energía solar.

El objetivo del presente trabajo es analizar y caracterizar el mercado de los paneles solares en este país, conocer las zonas y sectores de mayor demanda junto con su rentabilidad, para así para encontrar oportunidades de negocio. Para esto se estudia la factibilidad económica de la utilización de la energía solar en el sector residencial para paneles solares térmicos y fotovoltaicos en diferentes escenarios y regiones del país, su período de recuperación de capital, tasa interna de retorno y valor actual neto, para estudiar así cuán competitiva es esta fuente alternativa de energía en Chile en comparación con la utilización de gas licuado o electricidad. También se realiza una caracterización de la oferta y la demanda en Chile mediante encuestas realizadas a las empresas chilenas vinculadas a la producción y venta de paneles solares y con información de la aduana a modo de obtener datos relevantes que permitan diagnosticar la situación actual en el país, conocer las características de las empresas, los principales sectores que demanda paneles solares, la superficie instalada que se tiene en el país y de esta forma tener la información para realizar los análisis del mercado.

Finalmente se realiza una estimación del mercado a mediano plazo, combinando métodos cualitativos y cuantitativos como son el método Delphi y regresiones matemáticas, con el fin de pronosticar la demanda de paneles solares tanto térmicos como fotovoltaicos y conocer el potencial de crecimiento de este mercado en Chile.

## 2 Descripción y Justificación del Proyecto

El precio de los combustibles ha experimentado una fuerte alza estos últimos años. El petróleo, por ejemplo, ha aumentado en 6 veces su valor nominal desde el año 1991 a mediados de 2008.

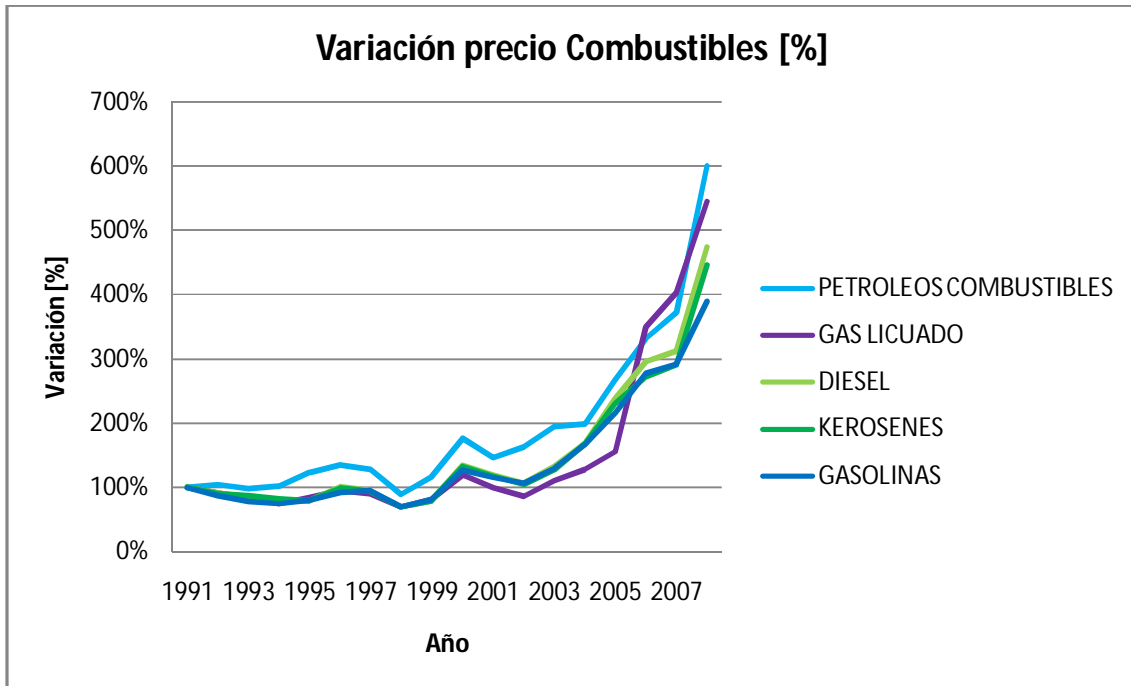


Gráfico 1: Variación nominal del precio de los combustibles.  
Fuentes: CNE (datos desde 1991 a 2005), Enap (datos desde 2006 a 28/8/2008).

Además, se tiene que Chile presenta una fuerte dependencia energética debido a la creciente necesidad de importar petróleo, derivados y gas natural para satisfacer su demanda interna y mantener su nivel de crecimiento económico. Más de un 50% de la energía consumida en el país es proveniente del petróleo crudo y gas natural y sobre un 60% corresponde a importaciones.

### Repartición de los consumos energéticos en Chile según energías primarias, 2007

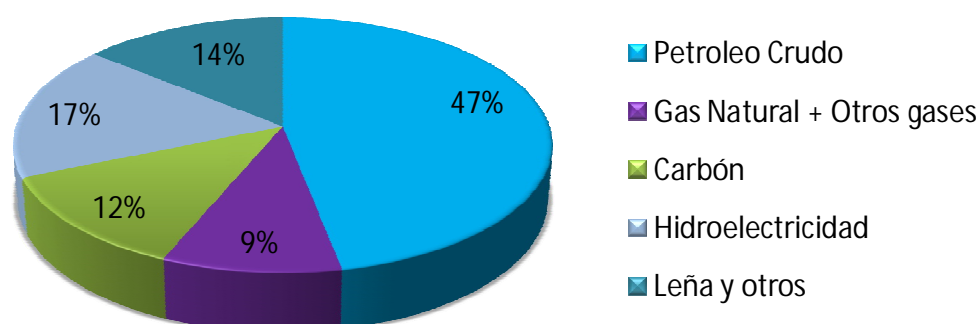


Gráfico 2: Repartición de los consumos energéticos, 2007.  
Fuente: BNE 2007 (CNE).

Por lo demás, Chile se ha visto ante problemas de suministro e inestabilidad de los insumos energéticos. Es por esto que el gobierno ha emprendido medidas para diversificar su matriz energética, recurriendo a nuevos recursos energéticos, como son las energías renovables, entre las que se encuentra la energía solar.

Por otro lado, se tiene que Chile posee condiciones privilegiadas en cuanto a la radiación solar que recibe. La intensidad de las radiaciones que llegan a la tierra en un instante varía según el momento del día y también puede variar considerablemente de un lugar a otro, especialmente según la latitud. La radiación mundial fluctúa entre un promedio de 1.000 kWh/m<sup>2</sup> al año, en países del norte de Europa, como Alemania y 2.000 a 2.500 kWh/m<sup>2</sup> al año en las zonas desérticas del planeta. Como referencia, la Región Metropolitana recibe un promedio de 1.500 kWh/m<sup>2</sup> al año, teniendo niveles de radiación más altos en el norte del país, donde por ejemplo, la segunda región tiene unos 2.000 kWh/m<sup>2</sup> al año.

La principal ventaja de la utilización de la radiación solar es que proviene de una fuente de energía inagotable, apta para zonas donde no llega el tendido eléctrico, es un sistema ecológico, silencioso y no contamina.

Todo esto, sumado a la disminución en el costo que han tenido las tecnologías de los paneles solares y su aumento de eficiencia, hacen que esta alternativa energética surja atractiva económicamente.

Luego, emerge la necesidad de conocer este incipiente mercado de los paneles solares en Chile, vale decir, conocer las características del mercado en el país, la situación actual, estudiar la factibilidad económica y predecir el comportamiento futuro.

### 3 Descripción del producto




El panel solar es una placa capaz de captar la energía del sol para ser utilizada básicamente de dos formas dependiendo del tipo de panel: para el calentamiento de aguas, mediante un panel solar térmico (también llamado colector solar térmico) o para la generación de electricidad mediante un panel solar fotovoltaico.

#### 3.1 Panel Solar Térmico

Consiste en una superficie capaz de absorber la radiación solar de modo de elevar la temperatura del fluido que circula en su interior (normalmente se utiliza un fluido caloportador en un circuito independiente al suministro de agua de la red). La transferencia de calor entre el fluido caloportador y el agua caliente sanitaria (ACS) se realiza mediante un intercambiador de calor y el agua caliente es acumulada en un estanque aislado.

El fluido caloportador puede moverse de forma artificial (con una bomba) o natural (gracias al fenómeno de convección). Generalmente son instalados con un sistema complementario de respaldo para períodos de baja radiación solar, como caldera o calefón.

Estos paneles pueden clasificarse a su vez, de acuerdo a la forma y uso de éstos:

Tipo	Descripción y Aplicaciones	Imagen
Panel solar plano simple	Sin cubierta de vidrio, con el objetivo de calentar grandes volúmenes de agua con un delta de temperatura pequeño. Utilizado principalmente para el calentamiento de aguas en piscinas.	
Panel solar plano con cubierta de vidrio	Caja con cubierta de vidrio que lleva tuberías en su interior (generalmente de cobre). Puede ser combinado con un sistema intercambiador de calor, de modo de evitar el congelamiento en invierno. Se utiliza para el calentamiento de aguas sanitarias.	
Panel solar plano con tubos al vacío	Sistema de tuberías al vacío de modo de disminuir pérdidas. Estos tubos se pueden conectar directamente al estanque de almacenamiento. Su uso es el calentamiento de aguas sanitarias.	


Panel solar concentrador parabólico	Concentra la radiación del sol en una superficie pequeña para reducir las pérdidas térmicas en el receptor, es utilizado principalmente para producir vapor que accione una turbina que genere electricidad.	
-------------------------------------	--	---

Tabla 1: Tipos de paneles solares térmicos.

Cualquier tipo de panel que tenga un sistema de seguimiento del sol durante el día, recibe el nombre de panel solar heliostato. Este sistema lo utilizan principalmente los paneles parabólicos.

### 3.2 Panel Solar Fotovoltaico

Está compuesto por celdas fotovoltaicas de material semiconductor, principalmente silicio, el cual reacciona con los fotones de luz, liberando electrones y siendo capaces de producir electricidad. Se distinguen básicamente dos usos: los sistemas conectados a una red de distribución eléctrica (es decir, entregar energía desde el panel fotovoltaico a la empresa distribuidora de electricidad) y los sistemas aislados, donde la energía puede ser consumida inmediatamente o almacenada en baterías. Este último es utilizado principalmente en lugares donde el costo de la electricidad es elevado o no se tiene acceso a ella, tales como estaciones repetidoras, postes SOS (teléfonos de emergencia en carretera), señales de tráfico, entre otras.



Los diferentes tipos de paneles solares fotovoltaicos dependen principalmente de la pureza del semiconductor que utilizan y el tipo de material. Destacan los siguientes:



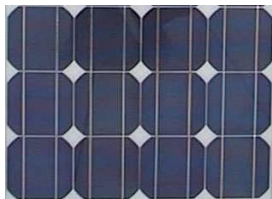
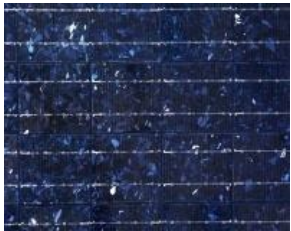


Tipo	Característica	Imagen
Panel de uniones triples	Células de tres capas de semiconductores, InGaP/InGaAs/Ge. Cada una captura diferentes partes del espectro electromagnético, logrando un rendimiento superior al 40% en laboratorio.	
Panel Ga-As	Combina dos materiales semiconductores, Galio (Ga) y Arsénico (As), de modo que cada uno de ellos absorba una parte del espectro electromagnético, consiguiendo un rendimiento de hasta 35%. A su vez posee desventajas, como la toxicidad y la disponibilidad de material.	
Células Monocristalinas	Compuesto de silicio monocristalino, posee un rendimiento de 15% a 18% y una tecnología fiable.	
Células Policristalinas	Compuesto de silicio policristalino, tiene una mejor ocupación del espacio que el monocristalino, menor costo y menor rendimiento, de 12% a 14%.	
Células de Silicio Amorfo	Su producción es más simple y económica que las otras células y es flexible. Sin embargo, su eficiencia es menor y disminuye progresivamente debido a un deterioro inicial. Rendimiento <10% (8%).	
Otros: Teluro de Cadmio, Diseleniuro de cobre en indio.	Célula fotovoltaica que combina otros materiales, con rendimientos entre el 8% y 17%.	

Tabla 2: Tipos de paneles solares fotovoltaicos.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Analizar y caracterizar el mercado de los paneles solares en Chile para conocer las oportunidades de negocio y estimar la demanda con el fin de proyectar el mercado a mediano plazo.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar un registro de las empresas más importantes de venta de paneles solares en Chile (locales e importaciones).
- Realizar un levantamiento de la situación actual del mercado.
- Establecer valores para los cuales es económicamente rentable la utilización de paneles solares en diferentes escenarios (número de personas, variación del precio de la electricidad, su porcentaje de aumento anual) y regiones del país.
- Determinar la cantidad de paneles solares instalados en Chile en los últimos cuatro años.
- Proyectar evolución de la demanda de paneles solares en Chile para los próximos 10 años.



## 5 Metodología

A continuación se exponen en detalle cada uno de los pasos metodológicos a considerar para la realización del proyecto, el cual se compone de nueve etapas:

1. Registro y caracterización de empresas: generar un listado de las empresas más importantes en el desarrollo (tanto de elaboración propia como de importaciones) de los paneles solares dentro de Chile, según orden de importancia. Incluir ventas históricas de las empresas de modo de conocer información pasada.
2. Analizar información del mercado de los paneles solares en otros países para dimensionar el tamaño del mercado potencial y entender su dinámica.
3. Diseño de Encuesta: compuesta por 3 ítems (empresa, producto y mercado) que tendrá el objetivo de caracterizar el mercado mediante ítems como:
  - Tamaño de las empresas por ventas anuales y el tipo de actividad que realiza.
  - Volumen de ventas en m<sup>2</sup> (producción local, exportaciones e importaciones).
  - Origen de los paneles solares.
  - Valor de panel solar completo e instalación y características técnicas.
  - Distribución regional.
  - Sectorización (piscina; agua sanitaria: hospitales, escuelas, hoteles; sector industrial).
4. Ejecución de Encuesta: será realizada a empresas que dan la oferta de paneles solares en Chile vía mail, telefónica o personalmente. Luego se realizarán los siguientes pasos:
  - Computar y Procesar: ordenar la información recabada y realizar análisis descriptivos para las preguntas que correspondan.
  - Generar base de datos.
5. Validación de datos con una fuente oficial (Aduana: Importaciones/Exportaciones) para comparar datos de superficie de paneles solares ingresados al país y su procedencia.
6. Búsqueda de información en fuentes secundarias. Por ejemplo valores de electricidad, cantidad de habitantes y otros datos relevantes mediante fuentes confiables como las del gobierno de Chile, Comisión Nacional de Energía (CNE), Superintendencia de electricidad y Combustibles (SEC), Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Cámara Chilena de la Construcción (CChC), entre otras.

7. Estudiar la viabilidad económica del uso de energía solar mediante panel solar térmico y fotovoltaico en sector residencial.
  - Evaluación de competitividad de la energía solar en comparación con energía convencional.
  - Cálculos de amortización, VAN y TIR.
  - Sensibilidad de la amortización ante variaciones del número de personas, del valor del gas licuado (GLP) y diferentes porcentajes de aumento anual del valor del GLP.
8. Caracterizar el mercado de los paneles solares, descripción de la situación actual: oferta y demanda, con los resultados de la encuesta e información de la aduana.
9. Proyección de la demanda
  - Ajustar los datos de un país con características similares por: habitantes, PIB y radiación media, de modo de proyectarlos a Chile y considerar la misma evolución del mercado a partir de la intersección a través del tiempo de los m<sup>2</sup> instalados en ambos países.
  - Realizar pronóstico mediante modelos matemáticos: causal y de serie de tiempo.
  - Utilizar enfoque cualitativo a través del método Delphi (juicio de expertos) para la obtención de pronósticos de demanda en Chile.
  - Cruzar la información de los dos puntos anteriores utilizando conceptos del ciclo de vida del producto para así realizar un pronóstico acertado ajustado a las características y condiciones de Chile.

Cabe destacar que cada una de las partes será realizada haciendo distinción para ambos tipos de paneles solares: térmicos y fotovoltaicos.

## **6 Alcances**

- En este trabajo se enfocan los resultados al estudio de la energía solar en Chile continental con todas sus regiones (se excluye la antártica e isla de pascua) y se realizan algunas especificidades para la Región Metropolitana.
- Se consideran los paneles solares térmicos planos: con cubierta de vidrio y tubos al vacío, excluyendo los utilizados para el calentamiento de aguas de piscina y parabólicos.
- Los estudios de viabilidad económica serán realizados para sector residencial de las diferentes regiones del país.
- También se consideran los paneles solares fotovoltaicos tomando el caso en el que la energía se utiliza sin necesidad de ser almacenada en una batería.

## 7 Estudio de viabilidad económica

En este capítulo se estudia la competitividad del uso de energía solar en el sector residencial para ambos tipos de paneles solares: los térmicos, para el calentamiento de aguas, y los fotovoltaicos, para generación de electricidad.

Para la realización de estos análisis, se consideró la radiación solar por regiones disponible en el archivo solarimétrico nacional elaborado por la Universidad Técnica Federico Santa María, que se adjunta en el Anexo 1.

### 7.1 Viabilidad económica: Panel solar térmico

La radiación solar que alcanza al panel no es capaz de ser aprovechada en su totalidad por una serie de pérdidas que existen en el sistema, las que se detallan a continuación:

Rendimiento	Valor	Justificación
Eficiencia del panel solar	70%	Relación entre la energía absorbida por el fluido portador de calor y la energía incidente (radiación solar) con una diferencia de 20°C entre la temperatura del aire y el fluido caloportador.
Intercambiador de calor	80%	Asociado a las pérdidas de transferencia de calor entre el fluido caloportador y el agua caliente sanitaria (ACS).
Superficie absorbente efectiva	95%	Corresponde a la superficie del panel que es capaz de absorber efectivamente radiación solar.
Cobertura solar	91%	El panel solar permanece con la inclinación óptima, pero estático; por lo que no es capaz de aprovechar toda la radiación a lo largo del día.
Rendimiento total del sistema	<b>50%</b>	

Tabla 3: Pérdidas para panel solar térmico.

Luego se toman las siguientes consideraciones:

1. Valores de referencia para 6 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos y estanque de 300 litros.
2. Rendimiento total del sistema del 50% (según detalle de tabla anterior).
3. Inversión de \$1.700.000.- que incluye todo lo necesario para el uso: panel, instalación, bomba y otros.
4. Panel solar es instalado con inclinación óptima para el aprovechamiento de la energía solar.
5. Mantenimiento de \$40.000.- cada 2 años durante los 10 primeros años de funcionamiento, anual posteriormente, con un aumento anual de 5%.
6. Vida útil y horizonte de evaluación de 20 años.
7. Aumento del valor de la energía de la empresa distribuidora de 0,1% al año.
8. Rendimiento del calefón utilizado para la comparación con energía solar del 80%.
9. Tipo de cambio de 1US\$ = \$600 que corresponde al promedio para el valor del dólar en el segundo semestre de 2008.

Con esto, la cantidad de energía que se puede adquirir con los 6 m<sup>2</sup> corresponde a:

Región	Radiación	Radiación	año
	[Wh/m <sup>2</sup> ] día	absorbida por 6 m <sup>2</sup> [kWh/m <sup>2</sup> ] eficientes	
RM	4.151	4.546	
I	5.295	5.798	
II	5.614	6.147	
III	5.053	5.534	
IV	4.951	5.422	
V	4.093	4.482	
VI	4.274	4.680	
VII	4.270	4.675	
VIII	4.041	4.425	
IX	3.577	3.917	
X	3.053	3.344	
XI	3.027	3.314	
XII	2.450	2.683	

Tabla 4: Radiación absorbida en 6 m<sup>2</sup> para panel solar térmico.

La principal fuente utilizada para el calentamiento de agua caliente sanitaria en Chile es el gas, que corresponde al 90% según la Comisión Nacional de Energía (CNE), pero su tarifa presenta una volatilidad elevada de acuerdo a condiciones internacionales sobre el precio de los combustibles, principalmente del petróleo. Por otro lado, se tiene que la tarifa de electricidad en Chile depende además del recurso hidráulico y de combustibles fósiles (principalmente carbón), esto se da en centrales hidro y termoeléctricas por lo que este último tiempo han experimentado una tarifa menos sensible a las inestabilidades internacionales. Por esta razón se utiliza el valor del gas licuado petróleo (GLP) y además la electricidad, como fuente de energía para el calentamiento de agua sanitaria en los cálculos relacionados con paneles solares térmicos.

En la tabla siguiente, se muestran los valores para evaluar la rentabilidad de un panel solar térmico en las diferentes regiones del país.

Para cada región, se muestra en la primera columna el precio del gas licuado (GLP). En la segunda columna se calcula el valor de la energía solar, dividiendo la inversión y la mantención actualizada por el ahorro que se experimenta con los paneles solares a lo largo de su vida útil (20 años).

Posteriormente la competitividad se tiene si este valor de la energía solar es menor que el valor del combustible. Luego se calcula el Valor Actual Neto (VAN) a 20 años con una tasa de descuento del 12% anual. Los flujos de ingreso para el cálculo del VAN corresponden a la cantidad de energía que es capaz de captar efectivamente el panel solar multiplicada por el valor efectivo del combustible (en este paso para el caso del gas licuado, es donde se considera el rendimiento del 80% para el calefón, incorporándolo como valor efectivo del combustible).

Se tiene como supuesto que se utiliza toda la energía solar capturada por el panel. La siguiente tabla muestra la competitividad de la energía solar para un panel térmico:

Región	GLP <sup>1</sup> [US\$/MMBtu]	Valor E <sup>0</sup> Solar [US\$/MMBtu]	Competitividad Si - No	VAN_20 años [\$]	TIR [%]	Amortización [Años]
RM	33,3	12,6	Es Competitivo	1.051.665	21%	4,7
I	37,7	9,8	Es Competitivo	2.370.481	31%	3,3
II	38,5	9,3	Es Competitivo	2.713.815	34%	2,9
III	36,6	10,3	Es Competitivo	2.049.631	29%	3,5
IV	35,5	10,5	Es Competitivo	1.860.016	27%	3,7
V	36,0	12,7	Es Competitivo	1.247.009	22%	4,3
VI	33,7	12,2	Es Competitivo	1.182.097	22%	4,4
VII	33,9	12,2	Es Competitivo	1.197.534	22%	4,4
VIII	33,9	12,9	Es Competitivo	1.025.976	21%	4,7
IX	33,9	14,6	Es Competitivo	690.270	18%	5,4
X	34,3	17,1	Es Competitivo	342.500	15%	6,3
XI	37,1	17,2	Es Competitivo	504.057	16%	5,8
XII	5,5*	21,3	No es Comp.	-1.609.141	-	> 25

Tabla 5: Competitividad energía solar en comparación con gas licuado (GLP) para panel solar térmico.

<sup>1</sup>Fuente: Comisión Nacional de Energía para precios de cilindros 45 kg de gas licuado para agosto de 2008. Unidades expresadas en dólares por millón de Btu, valores y transformación de unidades descritas en Anexo 2.

\*Dada la gran abundancia de gas natural en la región de Magallanes y su mayor uso, es que la tarifa utilizada corresponde al valor de este combustible.

Se puede ver que la utilización de paneles solares térmicos entrega valores competitivos para la generación de energía en comparación con fuentes convencionales desde la undécima región al norte. En Santiago se tiene un VAN sobre \$1.000.000.- con una tasa interna de retorno (TIR) de 21%. Por la alta radiación solar en el norte del país, para similares valores en el combustible (GLP), es que se tienen los menores períodos de amortización de Chile, con un tiempo en torno a los 3 años. Luego, en la zona centro norte, se tiene un período de amortización en torno a los 4,5 años y en la zona centro sur un período de unos 5 años, aumentando un año para las regiones X y XI. Se tiene también que el VAN para todas estas regiones es mayor que cero.

Por otro lado, en la Región de Magallanes la energía solar no es competitiva. Esto se debe principalmente al bajo costo del gas natural en esa región que es 6 veces menor que en la Región Metropolitana, por lo que el ahorro producido por el panel solar no es capaz de compensar la inversión con las mantenciones a lo largo de la vida útil. Si en esta región se tuviese un valor del combustible igual que en la Región Metropolitana, el panel solar amortizaría en 8,9 años con una TIR de 10%.

Las tasas internas de retorno son sobre un 15% para las regiones de la undécima al norte, lo cual es una rentabilidad relativamente alta para un proyecto de este tipo, pues si bien es una tecnología que está recién emergiendo en Chile, esta probada y es ampliamente utilizada en otros países por lo que realizando una instalación que cumpla con las características adecuadas de calidad que aseguren una

óptima operación, de modo de disminuir los riesgos de mal funcionamiento del sistema, que hagan ineficiente la transferencia de energía, no deberían existir riesgos que disminuyan la rentabilidad del proyecto. Por esto es importante que se regule el mercado como por ejemplo estableciendo un rendimiento mínimo de los paneles solares y certificando las instalaciones de calidad.



El período de amortización puede variar entre 3 y sobre 25 años dependiendo de la región del país que se considere. En la figura 1 se muestra con colores el período de amortización para cada región del país, donde el rojo oscuro simboliza un período de amortización acelerado, rojo es rápido, naranja es medio-rápido, amarillo es medio y negro representa que no alcanza a amortizar durante el período de vida útil del panel solar.

El período de amortización varía acorde a la cantidad de radiación que llega a las diferentes regiones del país. Se pueden ver las regiones I, II, III y IV de color rojo oscuro, que tienen períodos de amortización entre los 2,9 y 3,9 años. Luego, las regiones V, VI, VII, VIII y RM de color rojo, tienen un período de amortización entre los 4 y 4,9 años.

La región de la Araucanía, que se puede ver de color naranja, tiene un período de amortización de 5,4 años. Las regiones X y IX, con color amarillo, tienen períodos de amortización de entre 5,6 y 6,5 años.



Figura 1: Período de amortización para las regiones de Chile.

Si bien el período de amortización el depende fuertemente de la radiación local, es muy importante también el valor del combustible que se considere, pues como es el caso de la RM, donde se tiene el menor precio del GLP hace que el período de amortización sea levemente superior a las regiones geográficamente cercanas. Se tiene entonces que si el costo de oportunidad es menor, el período de recuperación de capital aumenta y por el contrario, si el costo de oportunidad a la energía solar (en este caso el combustible) aumenta su valor, el período de recuperación de capital disminuye. Esto puede verse en la siguiente tabla donde se muestra la competitividad de la energía solar en comparación con la electricidad y con los resultados de las comparaciones con gas licuado (GLP).

	GLP <sup>1</sup>	Elec.	Competi- tividad	VAN_20 años, GLP	VAN_20 años, elec.	TIR GLP	TIR elec.	Amort. GLP	Amort. elec.
Región	[US\$/ MMBtu]	[US\$/ MMBtu]	Si - No	[\$]	[\$]	[%]	[%]	[Años]	[Años]
RM	33,3	54,7	Si	1.051.665	1.982.249	21%	28%	4,7	3,5
I	37,7	48,4	Si	2.370.481	2.485.712	31%	32%	3,3	3,2
II	38,5	48,4	Si	2.713.815	2.749.298	34%	34%	2,9	2,9
III	36,6	57,8	Si	2.049.631	3.094.808	29%	37%	3,5	2,7
IV	35,5	63,2	Si	1.860.016	3.456.238	27%	40%	3,7	2,5
V	36,0	59,3	Si	1.247.009	2.255.641	22%	31%	4,3	3,3
VI	33,7	58,6	Si	1.182.097	2.382.562	22%	32%	4,4	3,2
VII	33,9	58,6	Si	1.197.534	2.377.907	22%	32%	4,4	3,3
VIII	33,9	57,8	Si	1.025.976	2.094.740	21%	29%	4,7	3,4
IX	33,9	62,5	Si	690.270	1.922.978	18%	28%	5,4	3,6
X	34,3	87,4	Si	342.500	2.668.242	15%	34%	6,3	2,9
XI	37,1	89,8	Si	504.057	2.749.438	16%	34%	5,8	2,9
XII	14,0*	64,0	Si	-1.609.141	785.563	-	19%	> 25	5,2

Tabla 6: Competitividad de la energía solar en comparación con gas licuado (GLP) y electricidad para panel solar térmico.

<sup>1</sup>El valor del GLP mostrado en esta tabla corresponde al valor real de agosto de 2008, sin incluir la incorporación del rendimiento del calefón.

\*Corresponde a valor de gas natural (GNL).

Puede verse que la rentabilidad se hace claramente más alta al comparar el uso de paneles solares térmicos con la electricidad. Esta es competitiva en todas las regiones del país y en el caso de la RM el VAN aumenta de un millón de pesos a cerca de dos millones, disminuyendo el período de amortización de 4,7 a 3,5 años<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Para algunas regiones como la II o la III se tienen valores de competitividad similares con ambos tipos de combustibles, con diferentes precios en el precio del combustible para la misma región, esto se debe a que la utilización de gas licuado requiere de un calefón (o caldera) para el calentamiento del agua sanitaria, el cual tiene un rendimiento de un 80%, lo que no ocurre en el caso de la electricidad.

Como se dijo anteriormente, en los cálculos mostrados se consideró una superficie de 6 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos, lo que se utiliza para familias de entre 4 a 6 personas. El período de amortización varía de acuerdo al número de personas que lo utilicen. Esto se muestra en el siguiente gráfico:

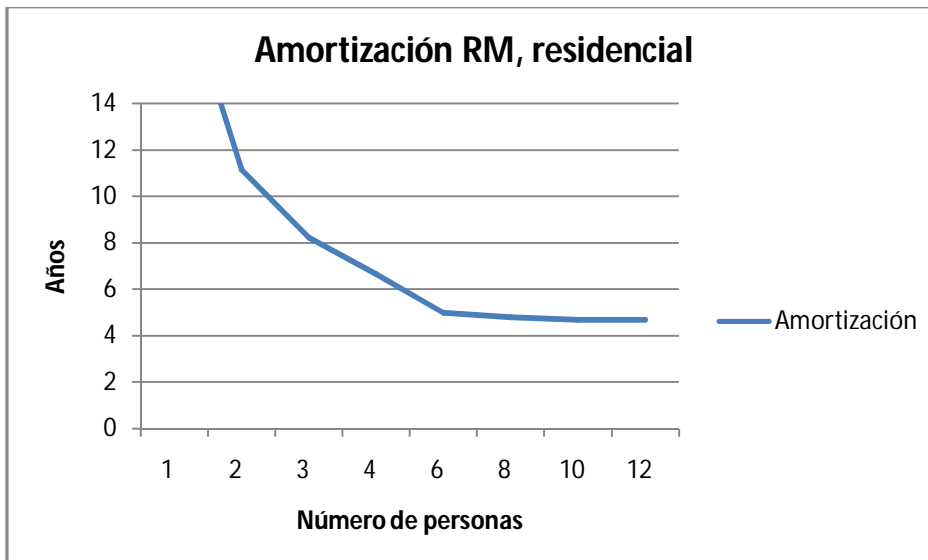


Gráfico 3: Sensibilidad de la amortización de panel solar térmico variando el número de personas. Valores de precio y mantención utilizados en los cálculos de empresa Tecnología Vio Solar S.A.

Para dos personas que utilizan 50 litros de agua caliente al día cada una, se tiene un período de amortización de 11 años, pasando a 8 y 6,7 años en el caso de 3 y 4 personas. Esta brusca baja en el período de amortización se tiene por los costos en los que se debe incurrir de todas formas para volúmenes más pequeños, como la bomba de circulación, cañerías y conexiones, aislación térmica, válvulas de expansión, entre otros.

El período de amortización es bastante sensible al valor del combustible que se utilice, es por esto que en el siguiente gráfico se muestra el período de amortización ante variaciones en el valor del gas licuado (GLP) para tres escenarios distintos:

1. Escenario 1: Disminución en el valor del GLP en un 10% anual.
2. Escenario 2: Aumento en el valor del GLP de un 0,1% anual.
3. Escenario 3: Aumento en el valor del GLP de un 10% anual.



El siguiente gráfico muestra la sensibilidad en el período de amortización ante variaciones en el valor del GLP para tres escenarios diferentes.

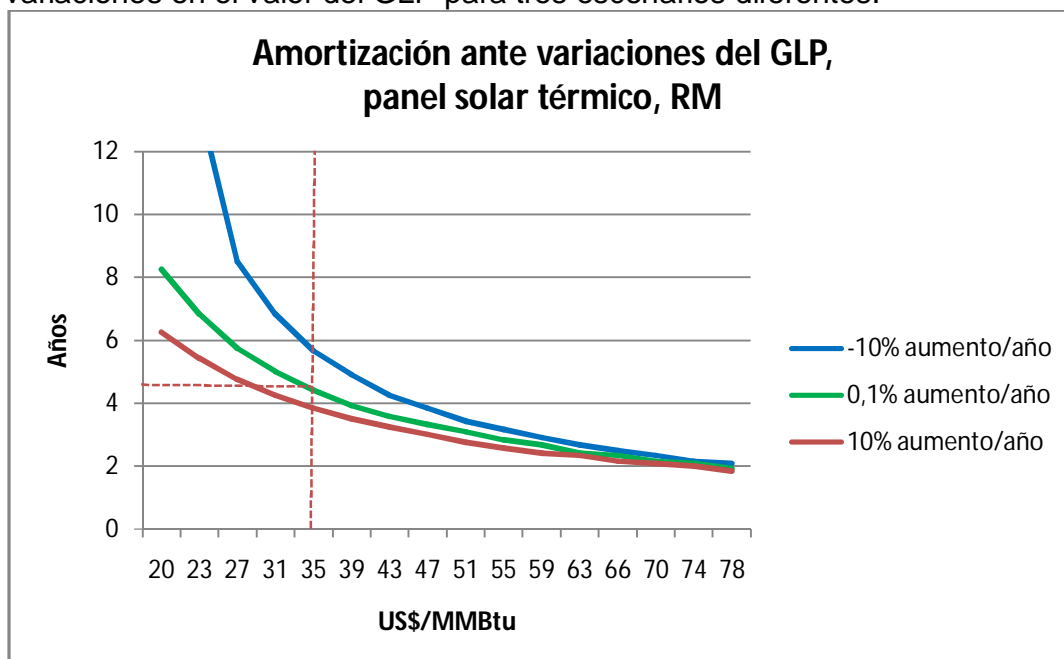


Gráfico 4: Sensibilidad de la amortización un de panel solar térmico ante variaciones en el valor del GLP para 3 escenarios de aumento anual del GLP en RM.

En el eje de las abscisas se muestra el valor actual del combustible, en este caso el gas licuado al momento de realizar la evaluación de utilizar paneles solares térmicos y en el eje de las ordenadas se muestra la cantidad de años que demoraría en amortizar el panel solar para tres escenarios de aumento anual en el valor del gas licuado. Por ejemplo, si el valor del gas licuado fuera 33 US\$/MMBtu y este valor aumentara un 0,1% anual durante los 20 años, el período de amortización sería de 4,7 años. Si se considerara un 10% de aumento anual (que corresponde al aumento anual que ha experimentado el precio del petróleo en los últimos 20 años, desde 1988 a 2008), el período de amortización disminuiría a 4 años.

En los casos extremos se tiene que si el precio del GLP bajara de 33,3 US\$/MMBtu a 20 US\$/MMBtu y éste disminuyera en un 10% anual permanentemente, el período de amortización no se alcanzaría a realizar dentro del período de vida útil del panel solar que son 20 años. Por contraparte, si su valor subiera a 78 US\$/MMBtu con un aumento del 10% anual, el período de amortización bajaría a 1,8 años. En el Anexo 4 se detallan en una tabla los períodos de amortización para cinco escenarios.

Si el valor del GLP disminuyera un 20% de 33,3 a 26,6 US\$/MMBtu, el período de amortización aumentaría de 4,7 a 5,9 años, esto es un aumento del 25% y si el GLP aumentara en un 20% a 40 US\$/MMBtu, el período de amortización disminuiría a 3,8 años, esto es un 20%.

El gráfico de sensibilidad la amortización para regiones se muestra en el Anexo 5.

Los valores en detalle para el escenario de 0,1% de aumento anual se muestran a continuación:

	<b>Amortización</b>	
	<b>[US\$/MMBtu]</b>	<b>[Años]</b>
	20	8,3
	23	6,8
	27	5,8
	31	4,9
	35	4,4
	39	4,0
	43	3,6
	47	3,3
	51	3,1
	55	2,8
	59	2,6
	63	2,4
	66	2,3
	70	2,2
	74	2,1
	78	1,9

Tabla 7: Amortización ante variaciones en el precio del GLP con un aumento anual de 0,1%.

La siguiente tabla muestra el período de amortización ante diferentes combinaciones para los valores de la energía, porcentaje de aumento anual y subsidio.

<b>Escenarios</b>	<b>US\$/MMBtu</b>	<b>%aumento</b>	<b>Amortización [Años]</b>
1	33,3	0,1%	4,7
2	16,6	0,1%	10,3
3	66,5	0,1%	2,3
4	33,3	20%	3,5
5	33,3	-18%	10,8
subsidio*	33,3	0,1%	3,1

Tabla 8: Amortización en diferentes escenarios.

\*Subsidio de \$600.000 corresponde a inversión de 1.100.000.-

Dado el subsidio, próximo a entrar en vigencia, se considera un escenario con este beneficio, el cual corresponde a un monto de \$600.000 (que equivale aproximadamente a 33,5 UF, el cual es el valor máximo que se va a entregar a viviendas nuevas individuales cuyo valor de construcción y terreno sea menor a 2.000 UF), en este caso, el período de amortización disminuirá de 4,7 a 3,1 años. Detalle del subsidio en Anexo 6.

## 7.2 Viabilidad económica: Panel solar Fotovoltaico

De forma similar al caso anterior, se toman las siguientes consideraciones:

1. Valores de referencia para 1 m<sup>2</sup> de panel solar fotovoltaico monocristalino, \$800.000.- de 220 Volt que incluye un inversor y un regulador de carga.
2. Eficiencia del panel de 18% (se utiliza el rendimiento estipulado para el panel solar y se supone que éste se mantendrá a lo largo de su vida útil, sin considerar las disminuciones de eficiencia que se dan al poner el panel en funcionamiento).
3. Rendimiento total del sistema del 15%.
4. Mantención igual a cero.
5. Vida útil y horizonte de evaluación de 30 años.
6. No incluye instalación, estructura de soporte, materiales eléctricos ni batería.
7. Aumento del precio del kWh de la compañía distribuidora de 0,1% anual.

La cantidad de energía que puede absorber 1 m<sup>2</sup> de panel solar fotovoltaico, en las diferentes regiones de Chile, se muestra en la siguiente tabla:

Región	Radiación [W/m <sup>2</sup> ] día	Radiación absorbida por 1 m <sup>2</sup> [kW/m <sup>2</sup> ] año eficientes
RM	4.151	227
I	5.295	290
II	5.614	307
III	5.053	277
IV	4.951	271
V	4.093	224
VI	4.274	234
VII	4.270	234
VIII	4.041	221
IX	3.577	196
X	3.053	167
XI	3.027	166
XII	2.450	134

Tabla 9: Radiación eficiente en 1 m<sup>2</sup> para panel solar fotovoltaico.

De la misma forma que para los paneles solares térmicos, se calcula el valor que se está pagando por la energía solar, el VAN, la TIR y el período de amortización.

Región	Electricidad	Valor E°	Competitividad	VAN_30	TIR	Amortización
	[\$/kWh]	Solar [\$/kWh]	Si - No	años [\$]	[%]	[Años]
RM	112,0	117,3	No es Comp.	-592.224	-0,2%	>30
I	99,2	92,0	Es Competitivo	-565.246	0,6%	27,5
II	99,2	86,8	Es Competitivo	-551.122	1,0%	25,9
III	118,4	96,4	Es Competitivo	-532.607	1,5%	24,2
IV	129,6	98,4	Es Competitivo	-513.240	2,0%	22,6
V	121,6	119,0	Es Competitivo	-577.575	0,2%	29,0
VI	120,0	113,9	Es Competitivo	-570.773	0,4%	28,2
VII	120,0	114,1	Es Competitivo	-571.023	0,4%	28,2
VIII	118,4	120,5	No es Comp.	-586.197	0,0%	>30
IX	128,0	136,2	No es Comp.	-595.400	-0,3%	>30
X	179,2	159,5	Es Competitivo	-555.465	0,9%	26,4
XI	184,0	160,9	Es Competitivo	-551.114	1,0%	25,9
XII	131,2	198,8	No es Comp.	-656.350	-	>30

Tabla 10: Competitividad energía solar, panel solar fotovoltaico.

Si bien se puede ver que el valor de la energía solar tiene valores competitivos para varias regiones del país pues el capital se recupera dentro del período de vida útil del panel solar, el proyecto tiene una muy baja rentabilidad, por lo que un proyecto de este tipo aún no es atractivo económicamente.

El período de amortización sobrepasa los 20 años para todas las regiones del país. Considerando que se utilizaron condiciones optimistas para los cálculos, hace que este tipo de tecnología aún no sea rentable.

El siguiente gráfico muestra la sensibilidad en el período de amortización realizando variaciones en el valor de la electricidad entre 90\$/kWh y 210\$/kWh, para cuatro escenarios de aumento anual en el valor del kWh.

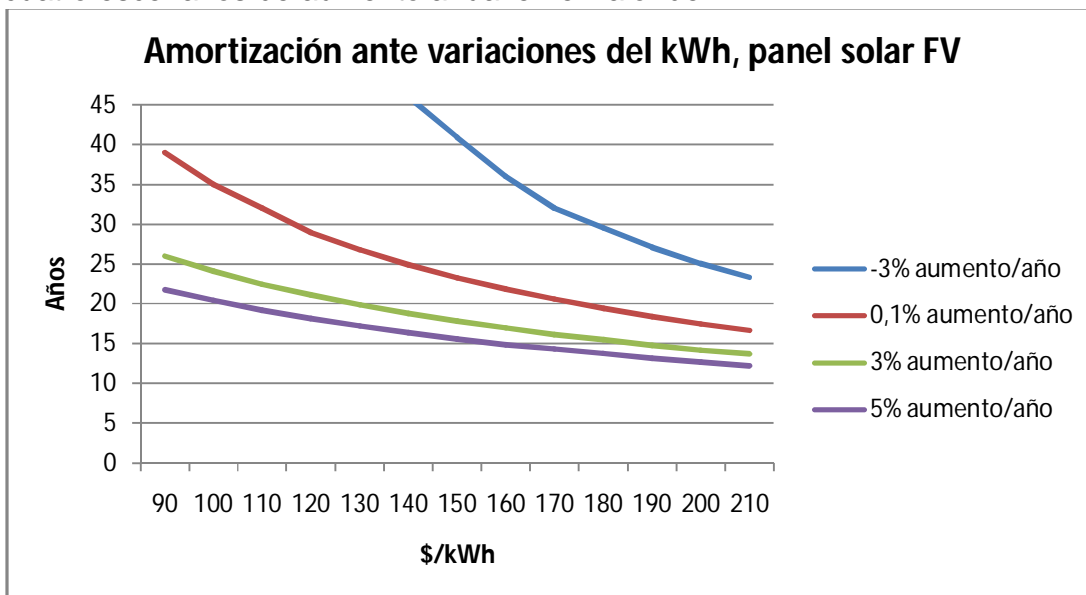


Gráfico 5: Sensibilidad de la amortización de panel solar fotovoltaico ante variaciones en el valor del kWh de la compañía distribuidora para 4 escenarios de aumento anual del kWh en RM.

Se tiene que para el escenario más optimista, que consiste en un precio de 210 \$/kWh y un aumento anual del 5%, el período de amortización en la Región Metropolitana baja de 28 a 12,3 años, pero considerando que no se contempla el uso de baterías o en su defecto las conexiones a la red, esto es suponiendo que la energía captada por el panel está siendo utilizada inmediatamente. Agregar costos de baterías podrían duplicar el valor de la inversión, estas necesitan de mantenimiento y su vida útil es mucho menor que la del panel solar, por lo que deben ser renovadas con cierta frecuencia y en ese caso el período de amortización aumentaría por sobre los 21 años.

El principal problema de este tipo de paneles solares, es el bajo rendimiento de las células fotovoltaicas comparado con su costo y la dificultad en el almacenamiento de la energía. Se han podido desarrollar células fotovoltaicas con hasta un 40% de eficiencia, pero a costos demasiado altos por lo que se sigue trabajando en mejorar esta tecnología. Recientemente se han conseguido células fotovoltaicas con un 50% de eficiencia, utilizando materiales más económicos para tener un bajo costo. Científicos del MIT (Massachusetts Institute of Technology) esperan que en tres años sea posible que esté disponible comercialmente. En el caso de poder aumentar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos a un 45% en condiciones reales de funcionamiento, manteniendo el costo de éstas, el período de amortización podría bajar de los 29 a los 10 años.

## 8 Caracterización de la Oferta

En este capítulo se describen las condiciones actuales de la oferta de paneles solares en Chile. Esto se llevó a cabo con información recopilada mediante una encuesta realizada entre julio y noviembre de 2008 a las empresas que venden paneles solares en Chile y con información del Servicio Nacional de Aduanas de Chile.

### 8.1 Listado de Empresas

Se realizó un catastro de las empresas que venden paneles solares en Chile (térmicos y fotovoltaicos), mediante información disponible en las páginas amarillas, Google y registro de la Asociación Chilena de Energía Solar (ACESOL). Se contabilizó un total de 69 empresas, de las cuales 56 están ubicadas en la Región Metropolitana y 13 en el resto del país. Este listado se muestra en el Anexo 7.

### 8.2 Encuesta

Utilizando el listado mencionado en el punto anterior, se realizó una encuesta, detallada en el Anexo 8, que se llevó a cabo vía telefónica, e-mail y personal, con la finalidad de obtener datos de distribución regional y sectorial, volúmenes de venta y características del producto para realizar un levantamiento del mercado y tener las bases para las proyecciones de éste.

El número de empresas a encuestar, se consiguió utilizando la fórmula para tamaño de muestra cuando la población es finita:

$$n = \frac{N * K^2 * \sigma^2}{N * e^2 + K^2 * \sigma^2}$$

Ecuación 1: Tamaño para una muestra de población finita.

donde:

Parámetro	Descripción
N	Tamaño de la población
K	Nivel de confianza
$\sigma^2$	Varianza de los datos
e	Error estadístico

Tabla 11: Descripción de parámetros para tamaño de muestra.

Para determinar el tamaño de la muestra se utiliza un nivel de confianza del 95%, lo que corresponde a  $K=1,96$ . Luego, se estima la varianza utilizando un método de investigación de mercado, el cual considera las preguntas más representativas de la encuesta en una muestra y calcula la varianza de esas preguntas, también se considera un error del 5%.

Con lo anterior, se establecen los siguiente valores:

Parámetro	Descripción	Valor
N	Tamaño de la población (número de empresas)	70
K	Nivel de confianza	1,96
$\sigma^2$	Varianza de los datos	0,1
e	Error estadístico	5%

Tabla 12: Parámetros para tamaño de la muestra.

$$\Rightarrow n = \frac{70 \cdot 1,96^2 \cdot 0,1^2}{70 \cdot 0,05^2 + 1,96^2 \cdot 0,1^2} \Leftrightarrow n = 13$$

Ecuación 2: Cálculos para el tamaño de la muestra

Lo que significa que con un tamaño de muestra mínimo igual a 13 empresas encuestadas, se pueden obtener resultados con un 5% de error y 95%de confianza.

### 8.3 Descripción de la oferta

Siguiendo con la teoría, se encuestaron 13 empresas y con los datos obtenidos de la encuesta, considerando un 95% de confianza y 5% de error, se puede determinar lo siguiente:

La principal actividad de las empresas es la distribución y venta directa a clientes, solamente un 1% trabaja como intermediario de otras empresas dentro de Chile. Un 92%, además de realizar la venta, presta servicio de instalación. El 85% es importador los paneles solares y sólo un 15% fabrica en Chile. Es importante mencionar que las empresas fabricantes en Chile se encuentran en funcionamiento con una antigüedad de alrededor de un año.

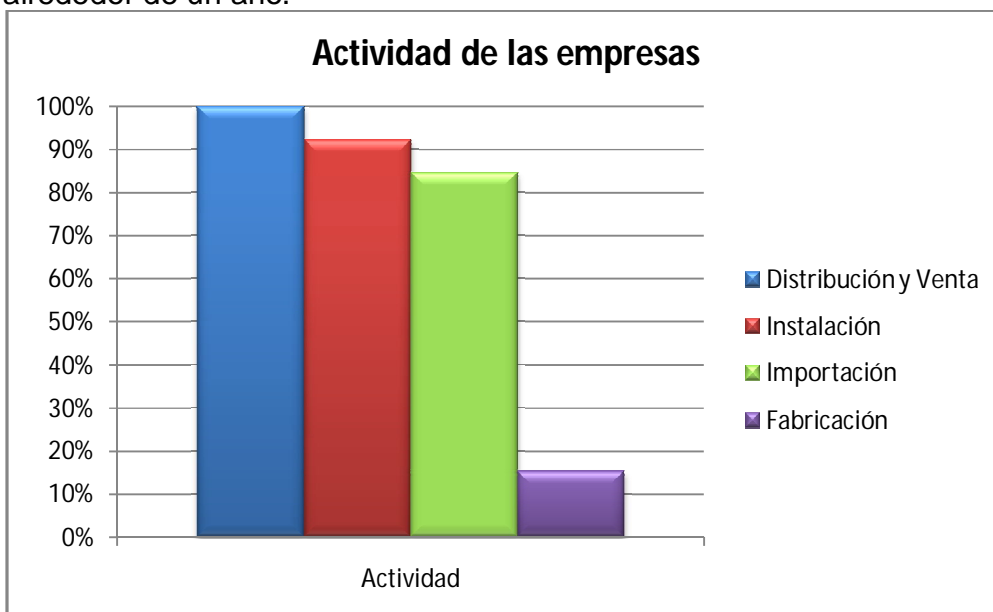


Gráfico 6: Actividad de las empresas vinculadas al rubro de los paneles solares.

La mayoría de las empresas importa paneles solares térmicos y prestan servicio completo tanto de venta como de instalación, obteniendo grandes márgenes con esta última actividad, pues la instalación alcanza valores similares al costo del propio panel solar.

En Chile está recién comenzando la fabricación de paneles solares, aumentando la expertiz técnica en el tema, haciendo más competitivo el mercado.

La cantidad de empresas, según tamaño de ventas anuales, puede verse en el gráfico siguiente:

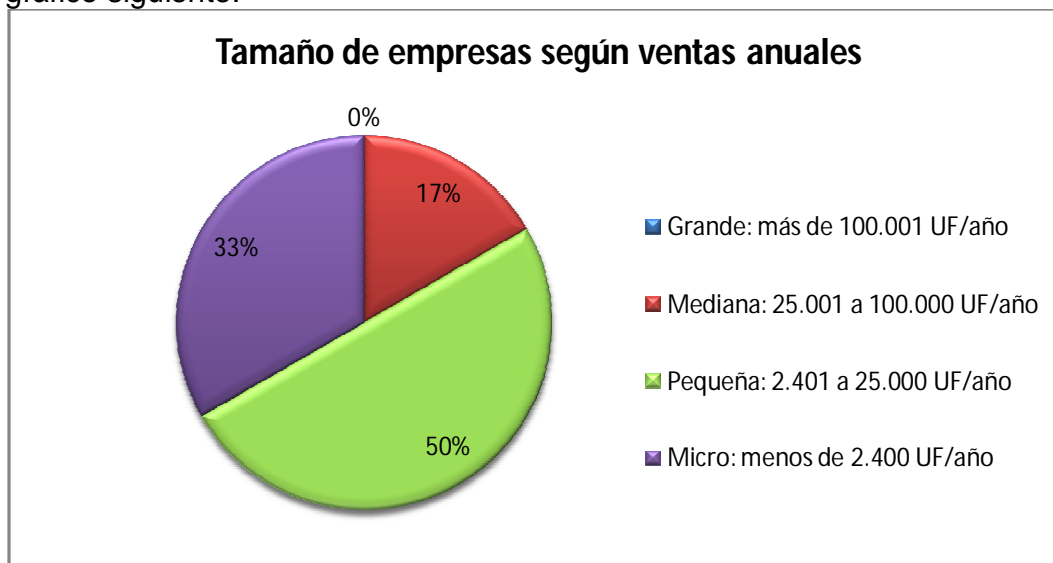


Gráfico 7: Porcentaje de empresas según tamaño por ventas anuales.

Se tiene que 35 empresas son de tamaño pequeño, lo que equivale al 50%, 23 son micro-empresas, correspondiente al 33% y 11 son medianas empresas, el 17%. No se tienen empresas grandes de paneles solares en el país, cuyas ventas sería superior a las 100.001 UF al año. Se puede ver que sobre el 80% de las empresas pertenece a la categoría micro o pequeña y las empresas medianas son las que no se dedican exclusivamente al rubro de los paneles solares. Esto podría llegar a ser peligroso ya que puede llegar una empresa extranjera o una empresa grande ya consolidada en Chile con mayor presupuesto, mejor tecnología, mejores precios y quedarse con el mercado dado que no existen grandes barreras de entrada.



Los principales medios de promoción que utilizan las empresas son:

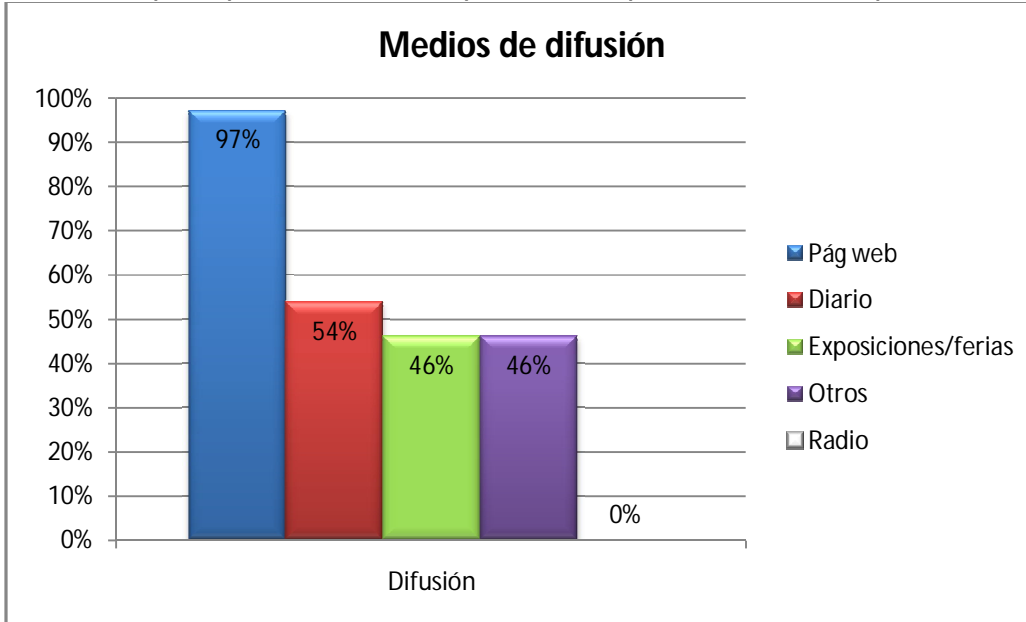


Gráfico 8: Medios de difusión.

El 97% de las empresas tiene página web y éste es en general el principal medio de difusión que tienen. El 54% se publicita en diarios y el 46% en ferias, pero esporádicamente, por lo que se ve que los esfuerzos de marketing son bastante bajos. Dado que las empresas no se dan a conocer, pierden la oportunidad de ser reconocidas y recordadas, por lo que en el caso de aparecer una empresa con mayor presencia mediática, desplazaría a las pequeñas.

Existen 43 empresas que ofrecen paneles solares térmicos, 21 ofrecen éstos y además fotovoltaicos y sólo 5 empresas ofrecen paneles solares fotovoltaicos exclusivamente.

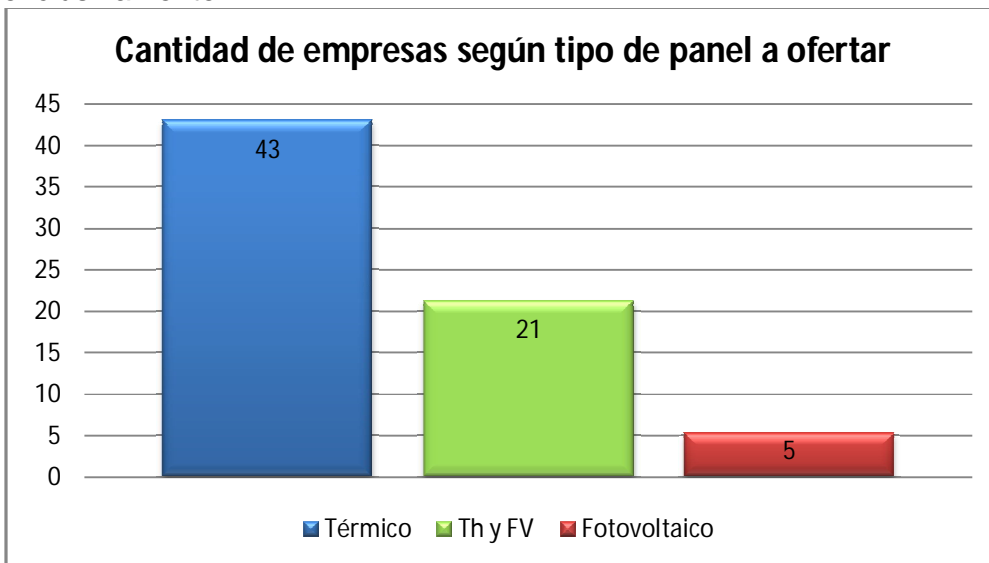


Gráfico 9: Cantidad de empresas según tipo de panel que ofrece: térmico, fotovoltaico o ambos.

La gran mayoría de las empresas que ofrece paneles solares comercializa los utilizados para el calentamiento de agua. Esto viene dado porque los fotovoltaicos aún no son competitivos en el sector residencial y su uso está dado para proyectos particulares.

Los paneles solares se ofrecen tanto en el sector rural como urbano.

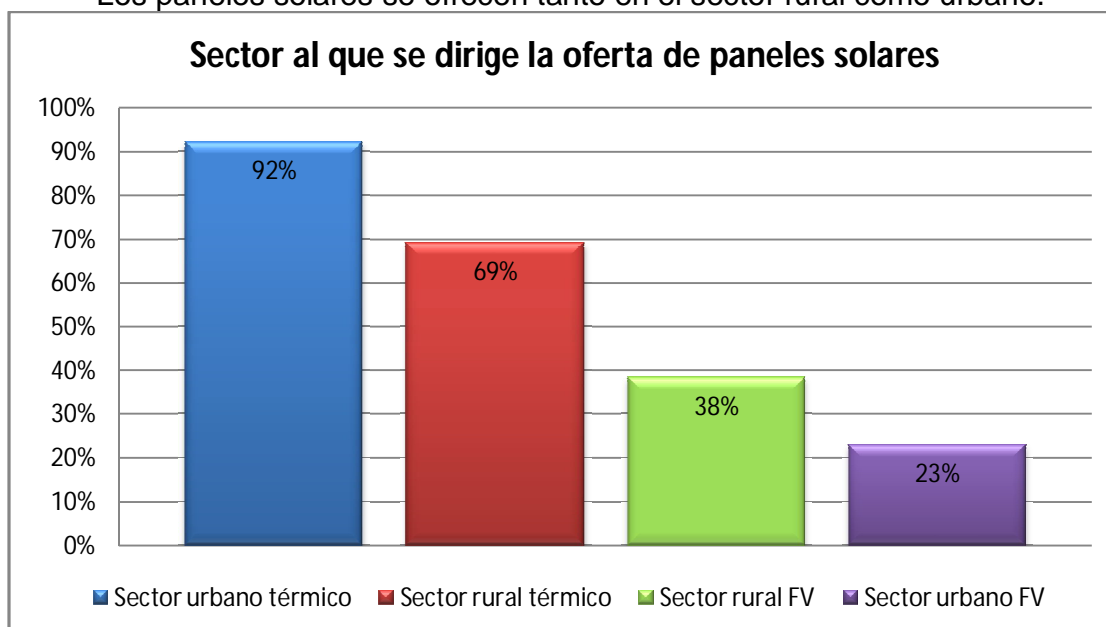


Gráfico 10: Sector al que se dirige la oferta de paneles solares según tipo de panel.

El 92% de las empresas ofrece paneles solares térmicos al sector urbano, un 69% lo hace al sector rural. En el caso de los paneles solares fotovoltaicos se invierten los porcentajes; la mayoría, un 38%, ofrece este tipo de paneles al sector rural y solo un 23% al sector urbano. Esto se da principalmente porque, como se veía en el estudio de viabilidad económica, un panel solar fotovoltaico no es rentable en el sector urbano, por lo que su uso se extiende a los sectores en los cuales se hace inaccesible o muy elevado el costo de la electricidad por parte de la empresa distribuidora.

En cuanto a la distribución geográfica de las empresas que venden paneles solares, se tiene una alta concentración en la Región Metropolitana, donde se encuentran 56 empresas de un total de 69, es decir el 81%. El resto se encuentra distribuido en las regiones de Valparaíso, Antofagasta, Bío-Bío, Tarapacá y de Los Lagos.

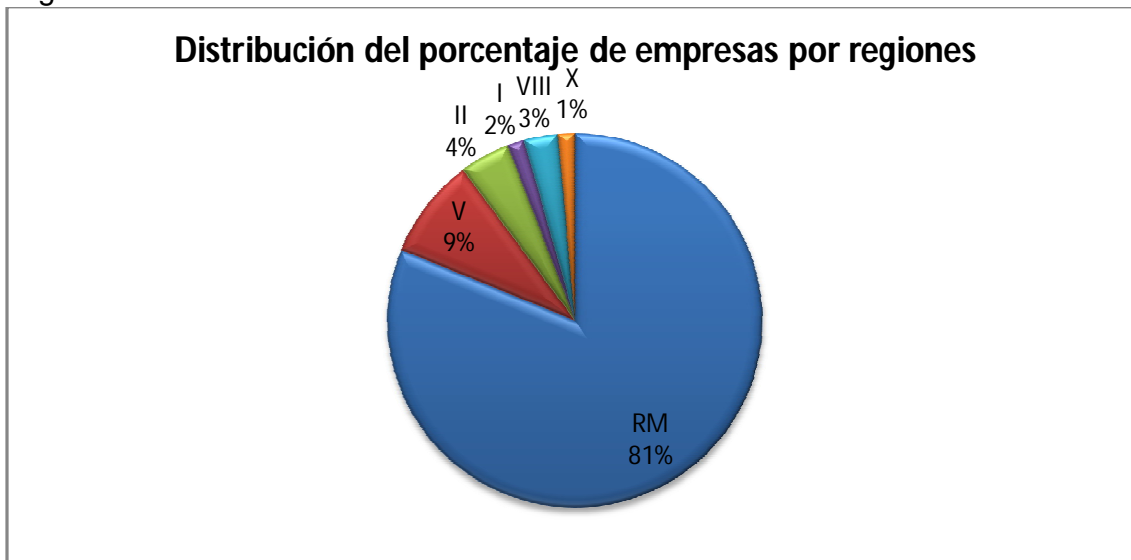


Gráfico 11: Distribución del porcentaje de empresas por región en Chile.

Existe una gran cantidad de empresas en la Región Metropolitana y una falta de empresas en regiones donde es bastante rentable el uso de paneles solares térmicos, especialmente en el norte del país, en regiones como la tercera y la cuarta. Por esto puede verse que falta una expansión a los lugares en los que el uso de la energía solar es económicamente atractivo, como por ejemplo la región de Coquimbo.

El siguiente gráfico representa la distribución de las empresas por región y por número de habitantes. Se observa que la mayoría se encuentran en la Región Metropolitana, debido principalmente a la centralización de las actividades comerciales del país y por tener un bajo período de amortización.



Gráfico 12: Número de empresas por cada 1.000.000 de habitantes, graficados por región.

Esto quiere decir que en la Región Metropolitana hay 8,4 empresas por cada 1.000.000 de habitantes, lo que es un número bastante alto comparado con algunas regiones; 5,5 en la Segunda Región, 3,5 en la Quinta, 2,1 en la Primera, 1 y 0,8 en las Regiones Octava y Décima. De esto se desprende que hay zonas en las cuales es bastante rentable la instalación de paneles solares y que aún no han sido explotadas.

Como se mostraba anteriormente en el gráfico 6: Actividad de las empresas, la mayor cantidad de los paneles solares son importados y el país de origen ha variado dependiendo de los años. En el siguiente gráfico se muestran los principales países de los cuales se ha importado entre los años 2002 y 2007, según el monto (en dólares). Destaca en los años 2006 y 2007 la presencia de China, (país del cual provienen los paneles de tubos al vacío, que son más económicos que los planos y tienen un mejor o igual rendimiento que éstos). China tiene una presencia de un 39% y un 64% de en los años 2006 y 2007 respectivamente en cuanto a los montos importados a Chile.

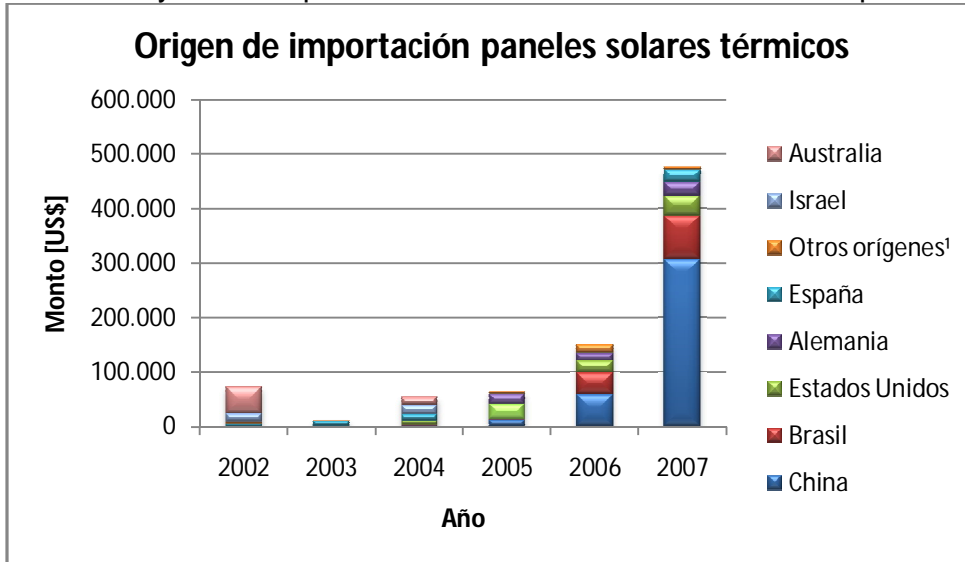


Gráfico 13: Origen de los paneles solares térmicos según monto de importaciones por año.

<sup>1</sup>Otros orígenes corresponde principalmente a: Canadá, Dinamarca, Francia, Grecia, México, Perú, Turquía.

Fuente: Servicio Nacional de Aduana, bajo código arancelario 84191900.

Puede verse también una considerable alza en los montos importados para los últimos años, pasando de 10.800 US\$ en 2003 a 480.000 US\$ en 2007.

En cuanto a la procedencia de los paneles solares fotovoltaicos, a partir de 2005 se empieza a ver la presencia de Japón dentro de las importaciones, que es hoy el principal productor de paneles solares a nivel mundial. El año 2007 Japón fue el país desde el cual se importó la mayor cantidad de paneles solares fotovoltaicos a Chile (medido en dólares), sumando un 34% del total para ese año, seguido de Estados Unidos (23%) y China (12%).

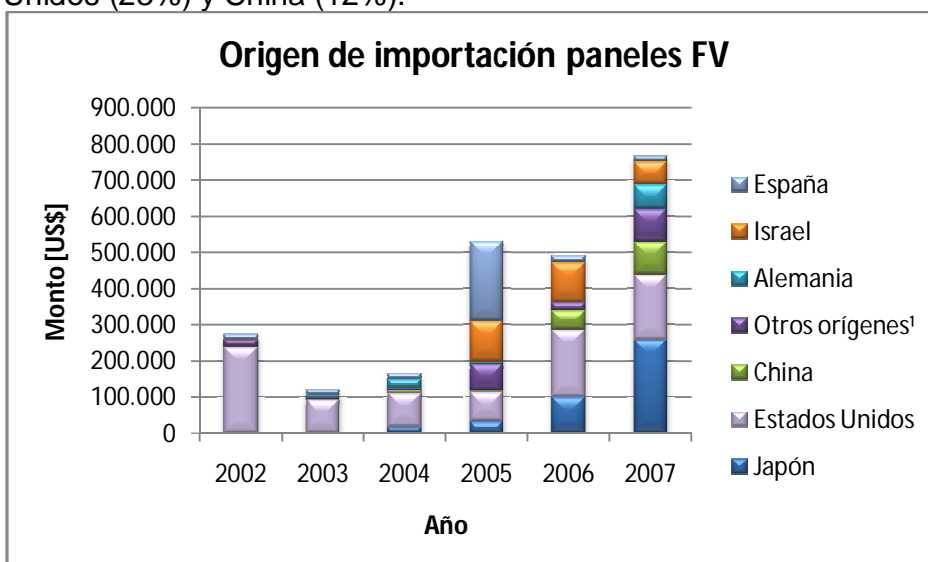


Gráfico 14: Origen de los paneles solares fotovoltaicos según monto de importaciones por año.

<sup>1</sup>Otros orígenes corresponde principalmente a: Australia, Brasil, Colombia, Canadá, Francia, India, México, Taiwán.

Fuente: Servicio Nacional de Aduana, bajo código arancelario 85414000.

Cabe destacar que en el monto de importación se incluye todo lo relacionado con el panel solar que se esté importando, aparte de la superficie absorbadora, la estructura de soporte, entre otros materiales.

A continuación se muestran los principales meses en los que se realizan las importaciones de paneles solares térmicos a Chile, de acuerdo al monto de importación.

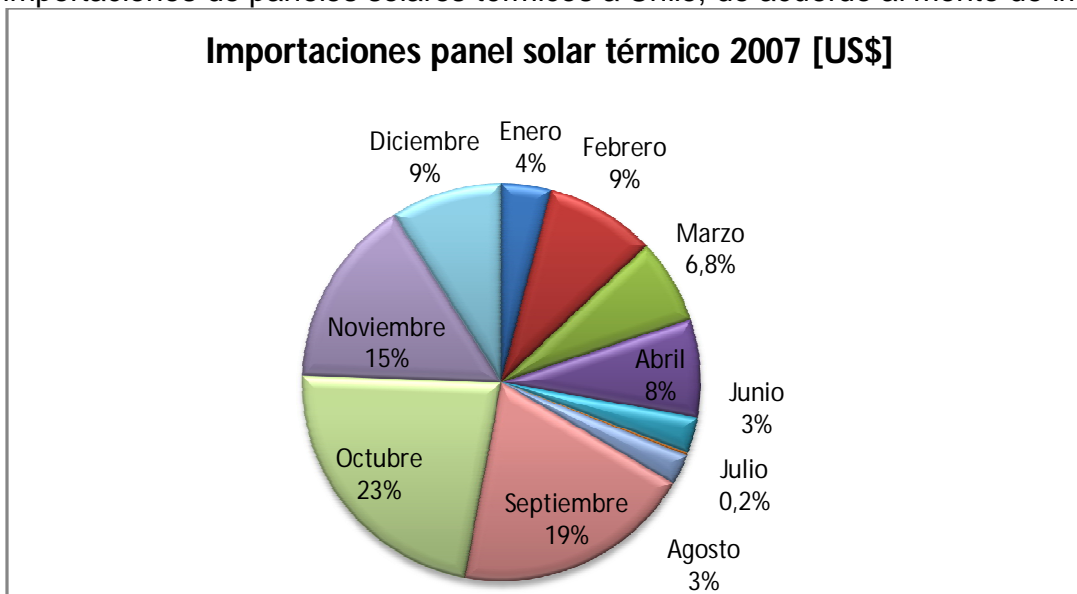


Gráfico 15: Distribución porcentual del monto de importaciones según mes para paneles solares térmicos, 2007.

Fuente: Servicio Nacional de Aduana, bajo código arancelario 84191900.

Se tiene que el 57% de las importaciones se realiza en los meses de septiembre, octubre y noviembre, antecediéndose a los meses de verano; este valor disminuye a 9% en diciembre, dejando solo un 34% para los meses de enero a agosto.

### 8.4 Concentración de mercado

Existen varios índices para medir la concentración de un mercado. Uno de ellos es el Índice Herfindahl-Hirschmann, que se define como la sumatoria al cuadrado de las participaciones de mercado; de esta forma le otorga mayor peso relativo a las empresas de participaciones mayores.

$$HHI = \sum_{n=1}^N \left[ \left( \frac{\text{ventas}_n}{\text{ventas totales del mercado}} \right) * 100 \right]^2, \text{ con } N \text{ el número de empresas.}$$

Ecuación 3: Índice Herfindahl-Hirschmann

Los valores del HHI pueden ir de cero (mercado perfectamente competitivo) a 10.000 (monopolio). Se considera un mercado de baja concentración, cuando se tienen niveles menores a 1.000, entre 1.000 y 1.800 como medianamente competitivos y sobre 1.800 da cuenta de una alta concentración de mercado.

Se tomaron las ventas anuales en metros cuadrados de las empresas entre los años 2004 y 2007, con los cuales se calculó el índice HHI:

Año	HHI
2004	2.352
2005	1.692
2006	1.292
2007	1.273

Tabla 13: Índice Herfindahl-Hirschmann

El año 2004 se tenía una alta concentración de mercado, la cual ha ido disminuyendo progresivamente en el tiempo, llegando a valores medianamente competitivos en los últimos tres años, acercándose a los niveles de baja concentración.

Otro indicador similar al anterior es el Coeficiente de Concentración, que se define de la siguiente forma:

$$c_i = \sum_{n=1}^i \left( \frac{\text{ventas}_n}{\text{ventas totales del mercado}} \right) * 100$$

Ecuación 4: Coeficiente de Concentración

ordenando las empresas por orden decreciente en sus cuotas de mercado, con  $i$  igual al número de empresas hasta el cual se desea calcular la concentración.

El siguiente gráfico muestra los  $c_i$  con  $i=1, 3, 6$  y  $10$ .

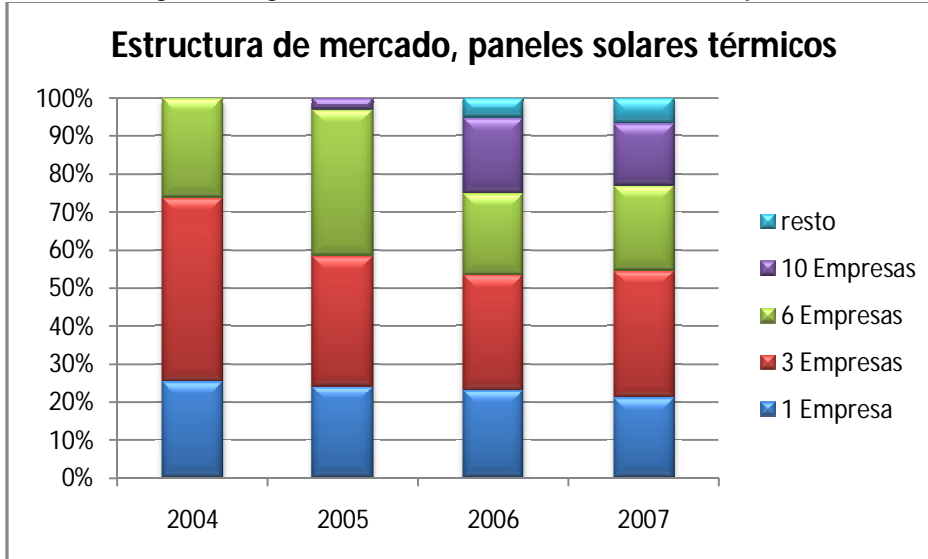


Gráfico 16: Estructura de mercado para empresas que comercializan paneles solares térmicos.

Los valores para estos coeficientes de concentración anteriormente graficados entre los años 2004 y 2007 son:

Coef \ año	2004	2005	2006	2007
$c_1$	25%	24%	23%	21%
$c_3$	74%	58%	53%	54%
$c_6$	100%	97%	75%	77%
$c_{10}$	100%	100%	95%	93%

Tabla 14: Coeficiente de concentración  $c_i$ .

Se puede ver como la concentración ha ido disminuyendo entre los años 2004 y 2007. Las tres empresas que más ventas realizaron el año 2004 (medido en superficie [ $m^2$ ]) tuvieron un total del 74% de las ventas, en contraste con el 2007 que fue de un 54%, pero se trata de un mercado que aún sigue estando concentrado, pues para el último año el 77% de las ventas fue realizado sólo por 6 empresas.

## 8.5 Análisis FODA

A continuación se muestra un análisis donde se examinan las principales Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del mercado de los paneles solares en Chile.

- Fortalezas
  - Ecológico: energía no contaminante.
  - Rentable económicamente.
  - Da al consumidor independencia energética.
  - Tecnología disponible y probada que además posee un bajo costo de mantención.
  
- Oportunidades
  - Alto nivel de radiación solar en Chile con energía que proviene de una fuente inagotable y es gratuita.
  - Se espera que el período de amortización disminuya: desarrollo de nuevas tecnologías y mejoras hacen que disminuya el costo de inversión mientras existe una tendencia al alza en el precio de los combustibles a largo plazo.
  - Mercado poco explotado, las empresas aún no han realizado esfuerzos de marketing para ser reconocidos y recordados por los clientes, por lo que existe gran desconocimiento por parte de los clientes de las empresas y de los productos.
  - Se está creando consciencia sobre las energías renovables no convencionales (ERNC).
  - Apoyo gubernamental: subsidio a paneles solares térmicos para viviendas nuevas.
  
- Debilidades
  - La mayor cantidad de radiación existe en horas y estaciones del año donde el sistema solar es menos utilizado.
  - Debe complementarse con otros métodos de energía.
  - Costo de la inversión: elevado costo de los equipos.
  
- Amenazas
  - Tendencia a la baja en el precio del combustible en los últimos meses: período de amortización presenta una fuerte dependencia al precio del combustible con que se compare.
  - Desconfianza por parte de los clientes al buen funcionamiento, efectividad y rentabilidad de esta alternativa energética.
  - Falta de regulación del mercado y falta de conocimiento de los oferentes: paneles que no cumplen con estándares mínimos de funcionamiento (asegurar rendimiento mínimo, poseer instaladores capacitados, mantener nivel de seguridad del sistema, problemas de sobredimensionamiento).



## 9 Caracterización de la Demanda

### 9.1 Demanda Actual

La caracterización de la demanda se realizó utilizando los resultados de la encuesta descrita en el punto 8.2, con el objeto de dar a conocer los sectores económicos que requieren este tipo de energía, en qué regiones y que tipo de instituciones la utilizan. Pero antes se muestran los valores del mercado potencial máximo que podría existir a mediano plazo, para ambos tipos de paneles.

#### 9.1.1 Mercado Potencial absoluto: Panel solar térmico

Se estima el valor máximo de paneles solares térmicos que podrían ser instalados en Chile para el sector residencial al año 2020, considerando la cantidad de energía necesaria que consume una persona y llevando este valor a la cantidad de metros cuadrados necesarios por regiones.

Para estimar la demanda potencial total, se realizan los supuestos de que una persona utiliza 50 litros de agua caliente al día a una temperatura de 45°C. La energía necesaria para lograr esa temperatura se obtiene multiplicando el  $\Delta T$  por la capacidad calorífica del agua por la cantidad de agua. Por otra parte, se conoce la cantidad de energía que es capaz de captar 1 m<sup>2</sup> de panel solar, entonces la cantidad de paneles solares por persona es el cociente entre la cantidad de energía necesaria y la cantidad de energía captada por el panel solar al día.

persona	Valor	Descripción
$\Delta T$	40°C	elevar T <sup>o</sup> de 5°C a 45°C
Capacidad calorífica específica del agua	0,001163 Wh/(g °C)	1 cal/(g °C)
se necesitan	2,325 kWh/día	para calentar los 50l de agua/día
1 m <sup>2</sup> de panel térmico absorbe	2,08 kWh/m <sup>2</sup> día	considerando pérdidas, en RM
=>	1,1m <sup>2</sup>	panel solar/persona en RM

Tabla 15: Cantidad de m<sup>2</sup> necesarios per cápita en RM. Estos valores consideran la radiación media anual por lo que en invierno se necesitarán más m<sup>2</sup> y en verano menos. Un detalle para los meses del año se muestra en el Anexo 9.

Realizando el mismo procedimiento para todas las regiones del país, se tiene:

Región	kWh/m <sup>2</sup> día eficientes <sup>1</sup>	m <sup>2</sup> /persona	Población al año 2020 <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> max/región al 2020
<b>RM</b>	2,08	1,1	7.437.567	8.333.408
<b>I</b>	2,65	0,9	525.920	461.941
<b>II</b>	2,81	0,8	606.159	502.203
<b>III</b>	2,53	0,9	312.091	287.244
<b>IV</b>	2,48	0,9	740.188	695.338
<b>V</b>	2,05	1,1	1.889.524	2.147.186
<b>VI</b>	2,14	1,1	957.893	1.042.321
<b>VII</b>	2,13	1,1	1.114.309	1.213.844
<b>VIII</b>	2,02	1,2	2.284.288	2.629.396
<b>IX</b>	1,79	1,3	1.066.990	1.387.503
<b>X</b>	1,53	1,5	1.316.824	2.005.825
<b>XI</b>	1,51	1,5	112.268	172.521
<b>XII</b>	1,23	1,9	185.076	351.354
<b>TOTAL PAIS</b>				<b>21.230.085</b>

Tabla 16: Mercado total potencial al año 2020.

Fuentes:

<sup>1</sup> Archivo solarimétrico nacional, elaborado por la Universidad Técnica Federico Santa María ponderado por la eficiencia del sistema total del panel solar.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Estadísticas INE.

Multiplicando la cantidad de habitantes por la superficie máxima a utilizar, se tiene el mercado total potencial al año 2020, que corresponde a 21 millones de m<sup>2</sup>.

El total de paneles solares térmicos instalados en Chile al año 2007 es de 11.100 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a una fracción de sólo el 0,00054 de la demanda total potencial en sector residencial. Como referencia se tiene que en España se utiliza un 1,075% de su demanda potencial absoluta y en Alemania un 3,181%.

### 9.1.2 Mercado Potencial absoluto: Panel solar Fotovoltaico

Para conocer el potencial fotovoltaico al año 2020, es necesario conocer la cantidad de energía que se consumirá en el país en ese año. Para esto se tomaron los datos históricos desde 1980 a 2005 de *International Energy Annual 2005*. Se calibraron los modelos con la información desde 1980 a 1999, obteniendo los resultados de la siguiente tabla:

Variable dependiente: Chile [Billón kWh]									
Modelo	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,877864	129,377	1	18	1,19E-09	5,428	1,19		
Cuadrático	0,981839	459,538	2	17	1,59E-15	11,582	-0,49	0,08	
Cúbico	0,987182	410,748	3	16	2,42E-15	9,662	0,5	-0,034	0,004
S	0,351766	9,76779	1	18	0,005845	2,998	-1,04		
Exponencial	0,953805	371,658	1	18	1,81E-13	8,469	0,06		

Tabla 17: Estimación de los parámetros para proyección de consumo de electricidad en Chile año 2020.

Todos los modelos son significativos y los que mejor se ajustan a los datos son el Cuadrático, Cúbico y Exponencial. Luego, para validar los modelos se utilizaron los datos desde el año 2000 a 2005, comparando los valores predichos con los valores que efectivamente se obtuvieron esos años. La tabla con el detalle se adjunta en el Anexo 10. Una medida para calcular el error en la validación de los datos es el MAPE: mean absolute porcentaje error o error porcentual medio absoluto.

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_i^n \frac{|valor\ real(i) - valor\ predicho(i)|}{|valor\ real(i)|}$$

Ecuación 5: Error porcentual medio absoluto (MAPE).

Calculando el error para los modelos antes descritos se tiene:

Modelo	MAPE
Cuadrático	3,50%
Cúbico	13,70%
Exponencial	11,80%

El modelo cuadrático es el que menor error tiene al momento de la validación. Su forma es la siguiente:

$Y(t)=b_0+b_1*t+b_2*t^2$ , lo que en este caso corresponde a:  $Y(t)= 11,582-0,485*t+0,08*t^2$ .

Una vez estimada la energía que se consumirá en Chile el año 2020, se divide por la cantidad de energía media que es capaz de absorber 1 m<sup>2</sup> de panel solar fotovoltaico (que corresponde a 227 kWh/m<sup>2</sup> al año) para obtener la cantidad de metros cuadrados máxima. Ahora, la unidad de medida típica para este tipo de paneles solares son los Watt peak [Wp] o kilo Watt peak [kWp] que corresponde a la potencia máxima que es capaz de entregar el panel en condiciones de prueba estándar, las que son: temperatura de la célula de 25°C e irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>. Con esto y suponiendo un panel solar de 15% de rendimiento se tiene un factor de conversión aproximado de 125 Wp/m<sup>2</sup>. La siguiente tabla muestra la cantidad de m<sup>2</sup> máximo para el año 2020 y su equivalente en kWp para diferentes sectores económicos.

<b>Año</b>	<b>Total</b>	<b>Residencial</b>	<b>Comercial</b>	<b>Minero</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Industrial</b>	<b>Otros</b>
2020		16,2%	9,6%	33,4%	1,8%	29,3%	9,7%
[m <sup>2</sup> ]	555.066.079	90.045.318	53.026.339	185.545.028	9.738.280	162.890.588	53.820.526
[kWp]	69.383.260	11.255.665	6.628.292	23.193.129	1.217.285	20.361.323	6.727.566

Tabla 18: Superficie y kWp (kilo Watt peak) máximos de paneles solares fotovoltaicos en Chile al año 2020.

Los porcentajes sectoriales son del promedio entre los años 1997 y 2007.

Fuente para porcentajes según sectores: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_economicas/energia/series\\_estadisticas/series\\_estadisticas.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/energia/series_estadisticas/series_estadisticas.php)

Este valor corresponde a una fracción de  $6,04 \cdot 10^{-9}$  de la superficie actualmente instalada.

## 9.2 Descripción de la demanda

Este capítulo muestra la situación actual de la demanda de paneles solares en Chile, describiendo las regiones en las que más se demanda paneles solares, los sectores y la evolución de la superficie instalada para los últimos años en el país. Esto se realizó a través de los resultados obtenidos mediante la ejecución de la encuesta señalada en el capítulo 8 de la Caracterización de la Oferta la cual se adjunta en el Anexo 8.

Puede verse que la zona que más demanda paneles solares térmicos es la central con un 63% del total del país, luego sigue el Norte Grande (23%) y el Norte Chico (9%).

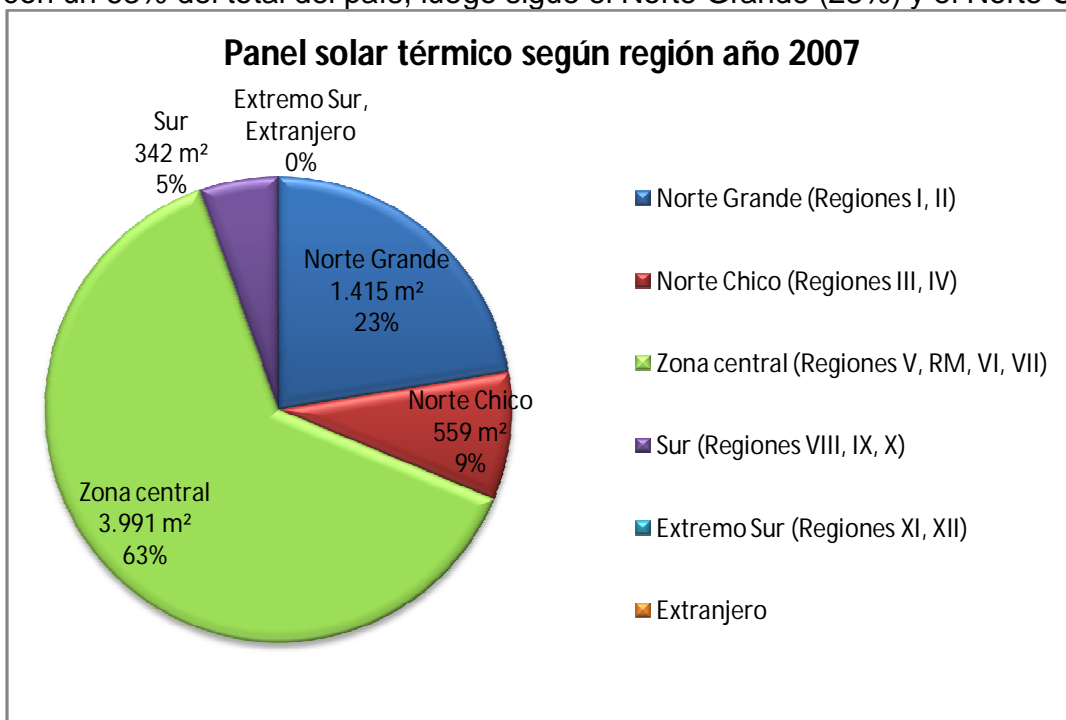


Gráfico 17: Distribución regional de paneles solares térmicos en el año 2007.

El 95% de la demanda para el año 2007 estuvo en las zonas centro y norte del país. Un 86% de los paneles solares térmicos fueron instalados el año 2007 en la zona central y en el Norte Grande, lo que corresponde a una superficie de 5.400m². Falta entonces crear una mayor consciencia en la zona del Norte Chico, que corresponde a las III y IV regiones, en las que la instalación de un panel solar es igualmente rentable que en regiones de más al norte.

Solo un 5% de la superficie de paneles solares ha sido instalada en la zona sur, lo que puede deberse a la tendencia en pensar que solo la zona norte, por poseer mayor radiación solar, es apta para la instalación de paneles solares pero en regiones como la del Bio-bio y la Araucanía se tienen atractivos períodos en la recuperación del capital. Como referencia se tiene que Punta Arenas recibe la misma radiación que Bremen, Alemania, país en el cual existe un gran uso de la energía solar.

Para los paneles solares fotovoltaicos, la distribución es diferente:

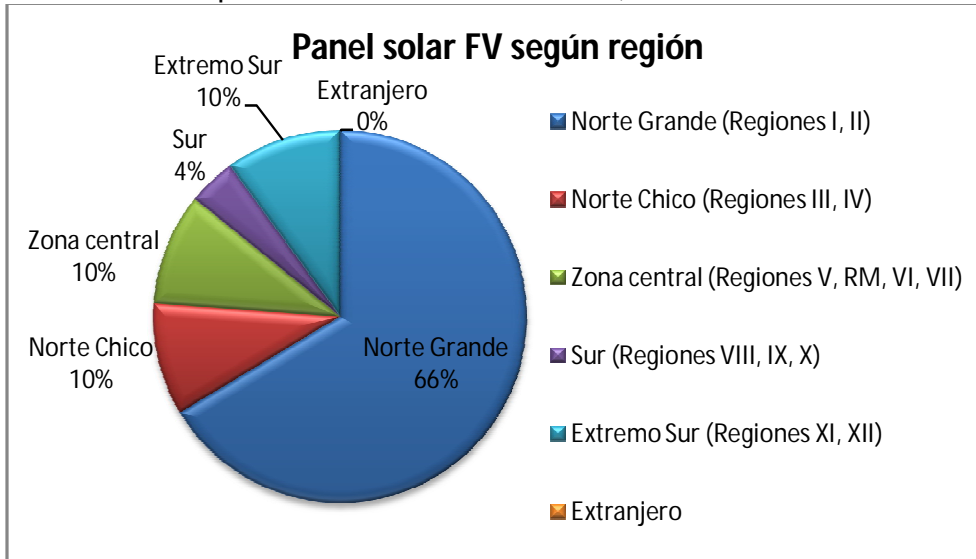


Gráfico 18: Distribución regional de paneles solares fotovoltaicos en el año 2007.

La demanda para este tipo de paneles se concentra principalmente en el norte, el 76% del total, aunque su gran mayoría se encuentra instalada en el Norte Grande (66%). Luego sigue la zona central, donde la demanda corresponde a un 10% del total, seguido del extremo sur (10%) especialmente para lugares de difícil acceso de electricidad. Las regiones que menos demandan paneles solares fotovoltaicos son las del sur, entre la VIII y la X pues en su gran mayoría cuentan con tendido eléctrico para satisfacer sus necesidades de electricidad y no se realizan exportaciones.

En el siguiente gráfico, se puede ver la superficie de paneles solares térmicos instalados durante el año 2007 en los diferentes sectores.

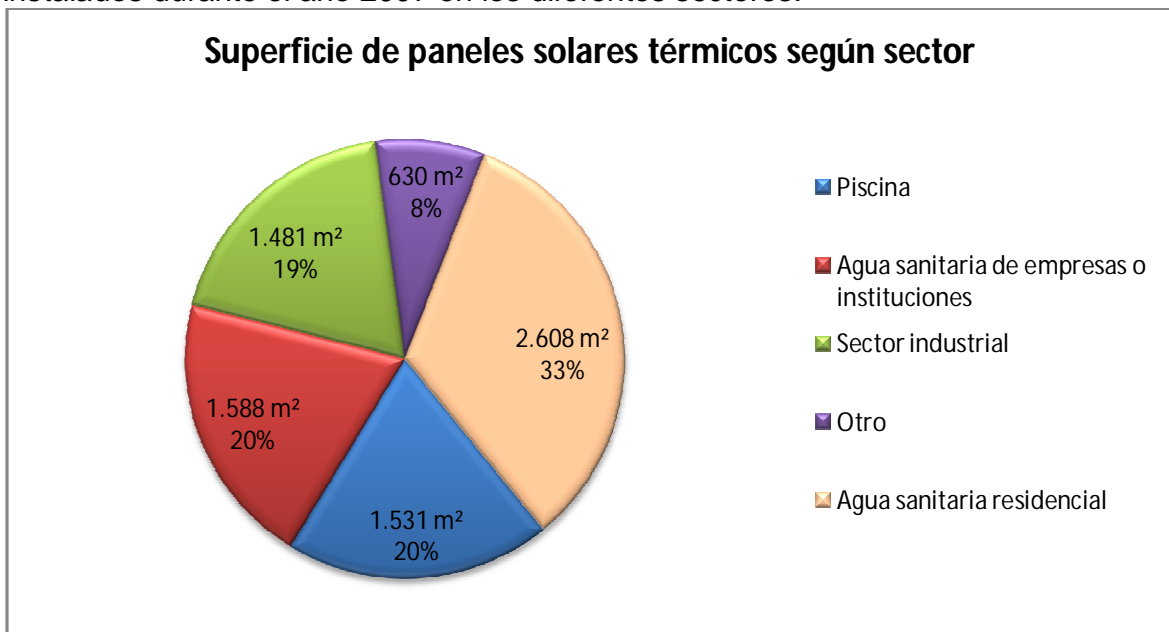


Gráfico 19: Sectorización de paneles solares térmicos, superficie en [m²] y porcentual para año 2007.

El mayor porcentaje fue instalado para el calentamiento de agua sanitaria en sector residencial, que corresponde a 2.600 m<sup>2</sup> (un 33%), seguido del calentamiento de agua sanitaria en empresas o instituciones, 1.600 m<sup>2</sup> (20%). La superficie instalada para el calentamiento de agua de piscina también es importante, pues normalmente se instalan colectores de polipropileno que abarcan superficies mayores de modo de calentar grandes volúmenes de agua con un  $\Delta T$  menor que los otros tipos de paneles solares.

Dentro del calentamiento de agua sanitaria en sector residencial se tiene que un 73% se utiliza en casas del sector urbano, lo que corresponde a 1.900 m<sup>2</sup>. El 15%, equivalente a 385 m<sup>2</sup>, es utilizado en condominios, el 7% ó 180 m<sup>2</sup> en departamentos y 130 m<sup>2</sup> en el sector rural.

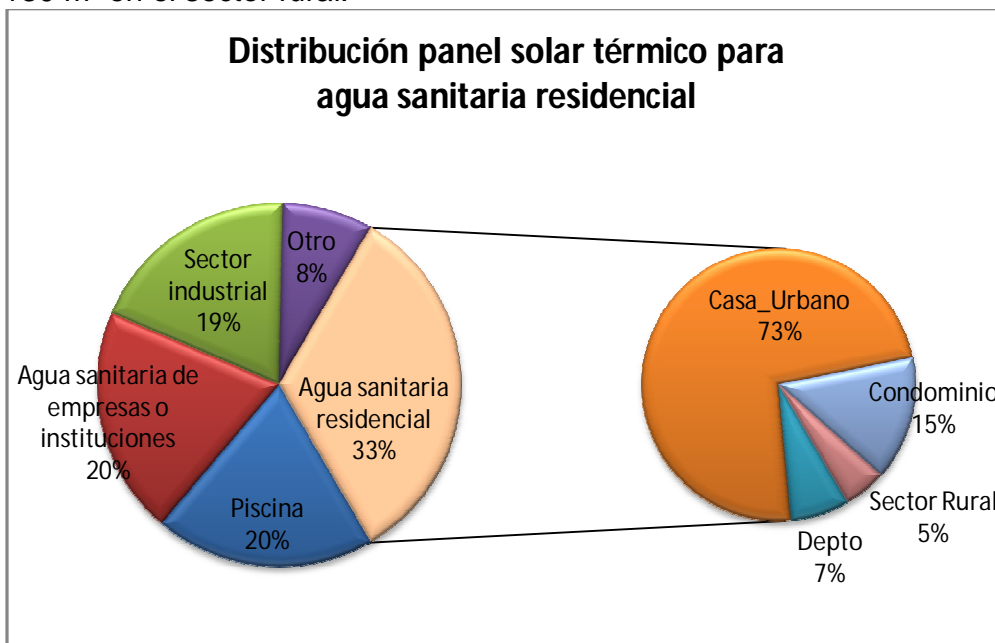


Gráfico 20: Distribución panel solar térmico dentro de vivienda particular.

Se puede ver claramente que falta explotar el uso de paneles térmicos para su uso a mayor escala, como su instalación en condominios o departamentos.

El calentamiento de agua para empresas o instituciones se da principalmente en colegios o escuelas, donde el año 2007 se instalaron cerca de 500 m<sup>2</sup> (un 30% dentro de lo que corresponde a empresas o instituciones), seguido de hoteles y moteles con 300 m<sup>2</sup> (19%) y clubes deportivos con 220 m<sup>2</sup> (15%).

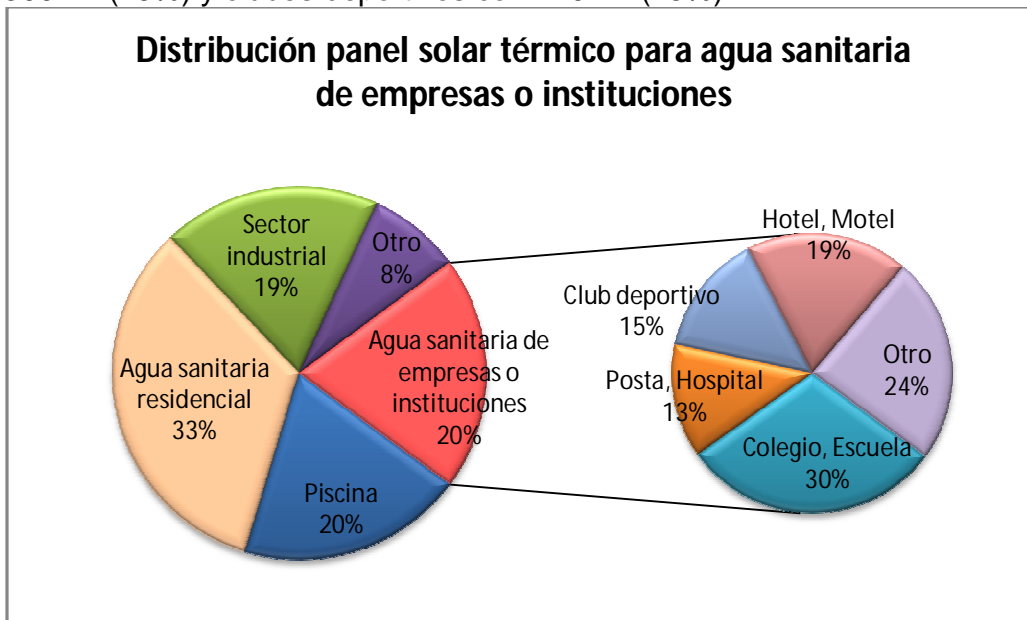


Gráfico 21: Distribución panel solar térmico para calentamiento de agua sanitaria en empresas o instituciones.

En el caso de los paneles solares fotovoltaicos, se tiene que dentro de los que son utilizados para vivienda particular, el 75% es para sector rural, donde tiene difícil acceso o sale muy caro llegar con cables de electricidad de la empresa distribuidora.

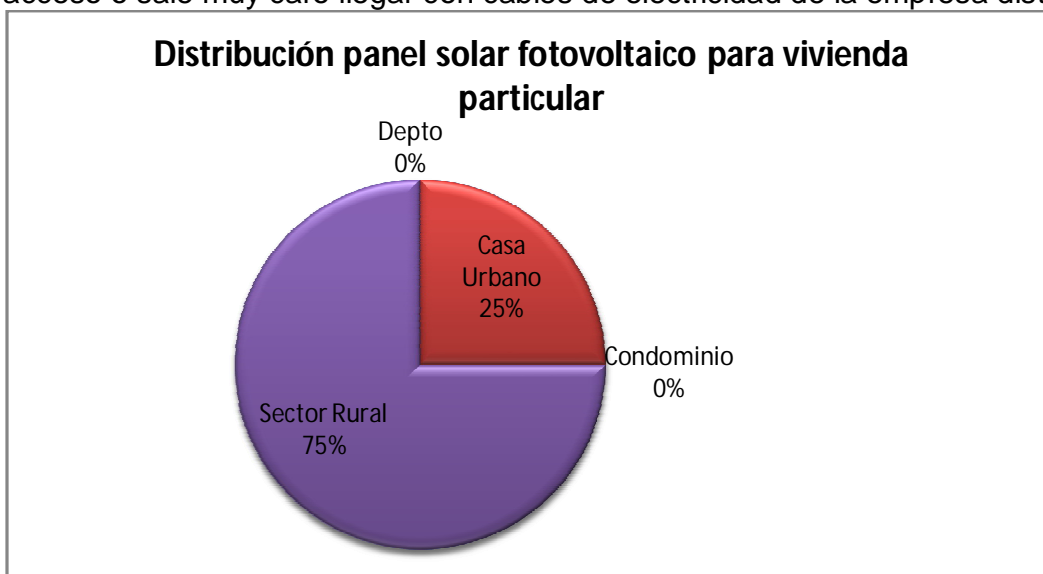


Gráfico 22: Distribución panel solar fotovoltaico para vivienda particular.

Se da esta distribución en los porcentajes pues aún no es rentable la utilización de paneles solares fotovoltaicos en zonas a las que se tiene acceso a la electricidad.



El siguiente gráfico muestra la superficie acumulada de paneles solares térmicos en Chile.

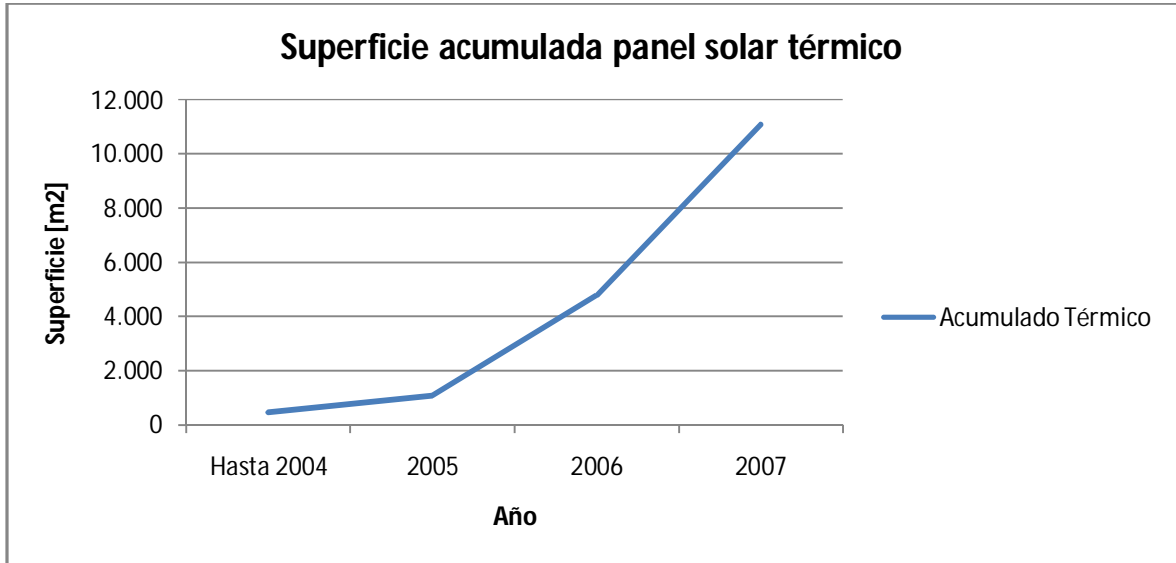


Gráfico 23: Superficie acumulada de paneles solares térmicos en Chile hasta año 2007.

Actualmente en Chile hay una superficie de 11.100 m<sup>2</sup> paneles solares térmicos instalados. Solo el año 2007 se instalaron 6.300 m<sup>2</sup>, lo cual significa un aumento del 70% en comparación con los 3.700 m<sup>2</sup> instalados el año 2006.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución de paneles solares térmicos instalados en Chile de la siguiente forma: acumulados hasta el año 2004 y durante los años 2005, 2006 y 2007.

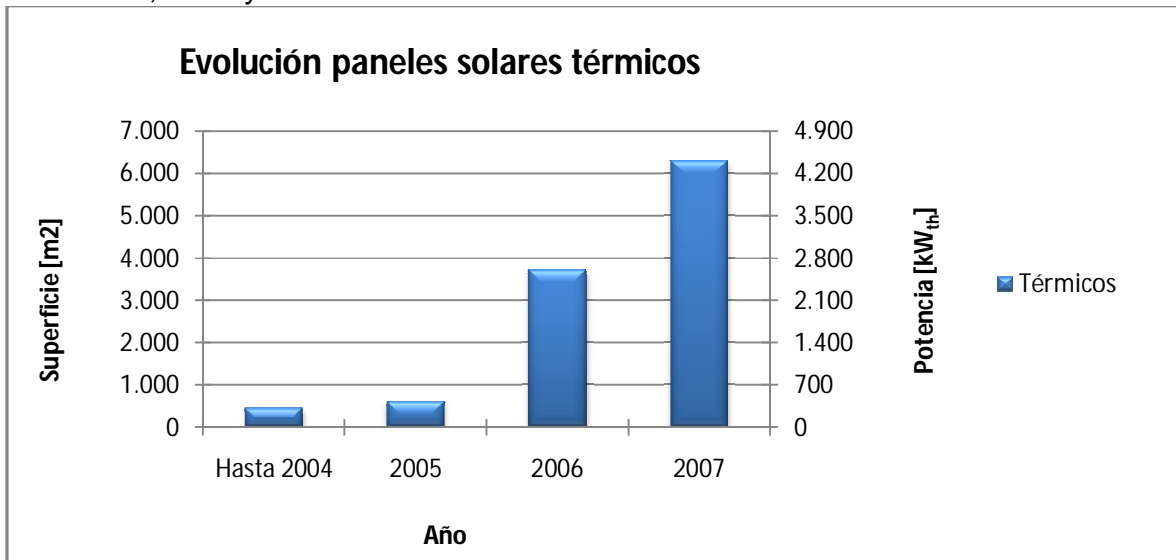


Gráfico 24: Evolución paneles solares térmico instalados en Chile.

Los paneles solares térmicos se miden normalmente como superficie en m<sup>2</sup>, pero también tiene un equivalente en potencia que se expresa en kilo-watt térmico [kW<sub>th</sub>]. La relación que se usa en Europa para ambos tipos de mediciones es de 0,7 [kW<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>] (fuente: European Solar Thermal Industry Federation ESTIF).

Del gráfico anterior se puede ver un fuerte aumento en la superficie instalada de paneles solares térmicos a partir del año 2005 y se espera que siga aumentando en forma progresiva impulsado por un lado por el subsidio dado por el gobierno y por otro lado por el gran atractivo económico que representa.

Otro aspecto importante de los paneles solares es que son una fuente de energía no contaminante. Se tiene que por cada kWh producido por un generador solar se reducen 0,6 kg de CO<sub>2</sub> (fuente: EPIA/Greenpeace: Solar Generation V – 2008). La disminución de CO<sub>2</sub> dependerá del combustible que se considere para la generación de energía y en este caso corresponde al gas natural.

El siguiente gráfico muestra la cantidad de CO<sub>2</sub> que se ha dejado de emitir al ambiente por la utilización de paneles solares térmicos en Chile.

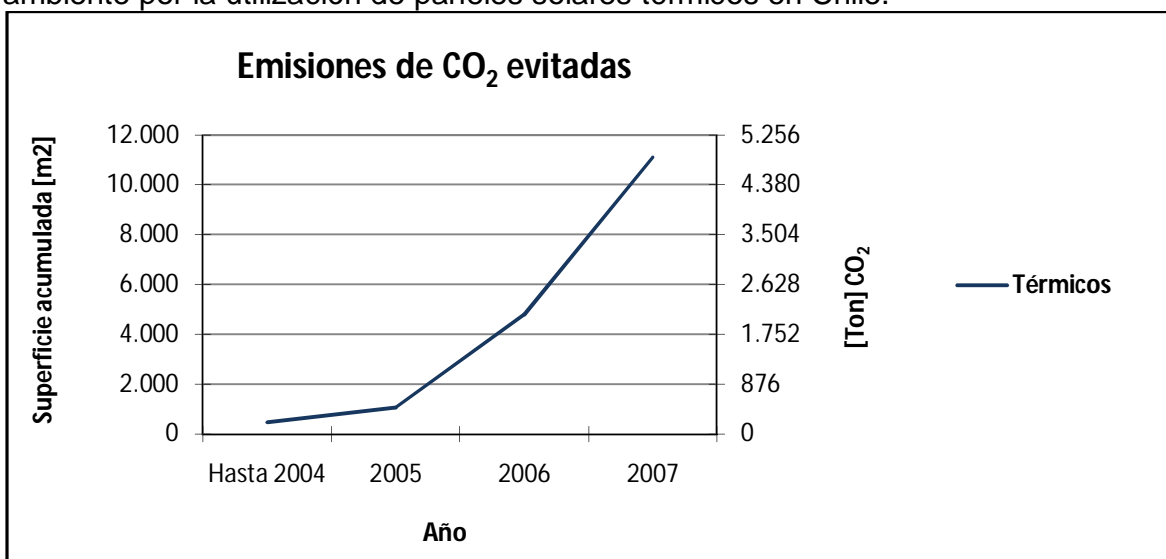


Gráfico 25: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la utilización de paneles solares térmicos.

Se tiene que el año 2007 se dejaron de emitir 4.860 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera con una superficie de 11.100 m<sup>2</sup>. Como referencia en Chile se emiten sobre 60 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Luego, se muestra la cantidad de paneles solares fotovoltaicos instalados en Chile. La cifra es un poco menor en comparación con los térmicos. Se tienen 350 kWp instalados que equivalen a 2.800 m<sup>2</sup> acumulados al año 2007.

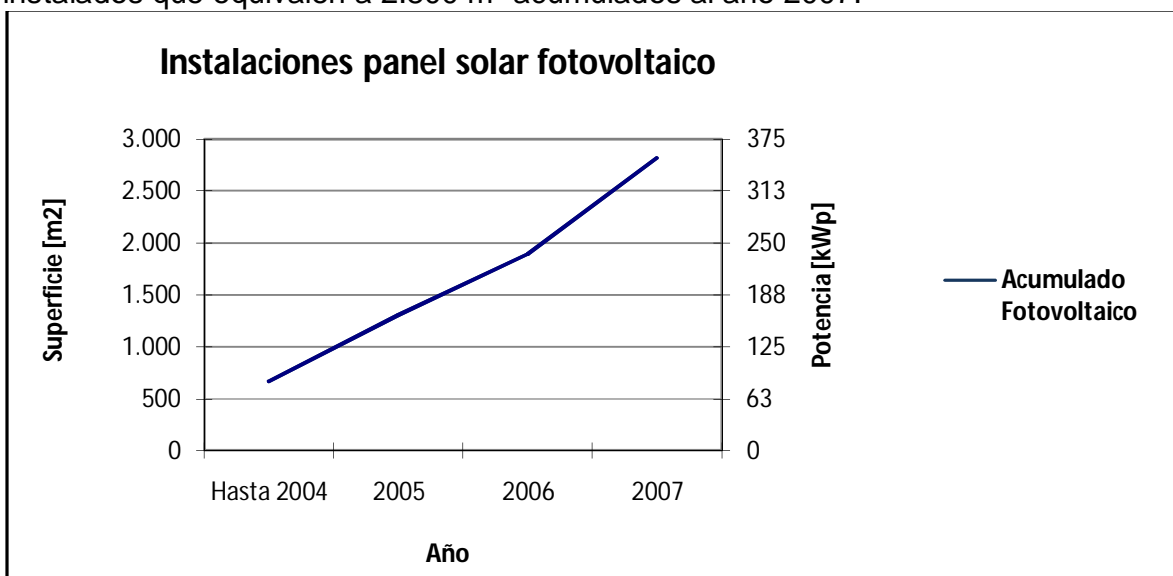


Gráfico 26: Evolución paneles solares fotovoltaicos instalados en Chile hasta año 2007.

Dado que la medición de los paneles solares térmicos se realiza en metros cuadrados [m<sup>2</sup>] y la de los fotovoltaicos en kilo Watt peak [kWp], el gráfico muestra en un primer eje de las ordenadas los valores de la superficie instalada y su equivalencia como un segundo eje de las ordenadas en [kWp]. El factor de relación entre la superficie de un panel fotovoltaico y su potencia bajo condiciones estándar, es de 0,125 kWp/m<sup>2</sup>. Luego, la cantidad de paneles solares fotovoltaicos instalados por año se muestra en el siguiente gráfico:

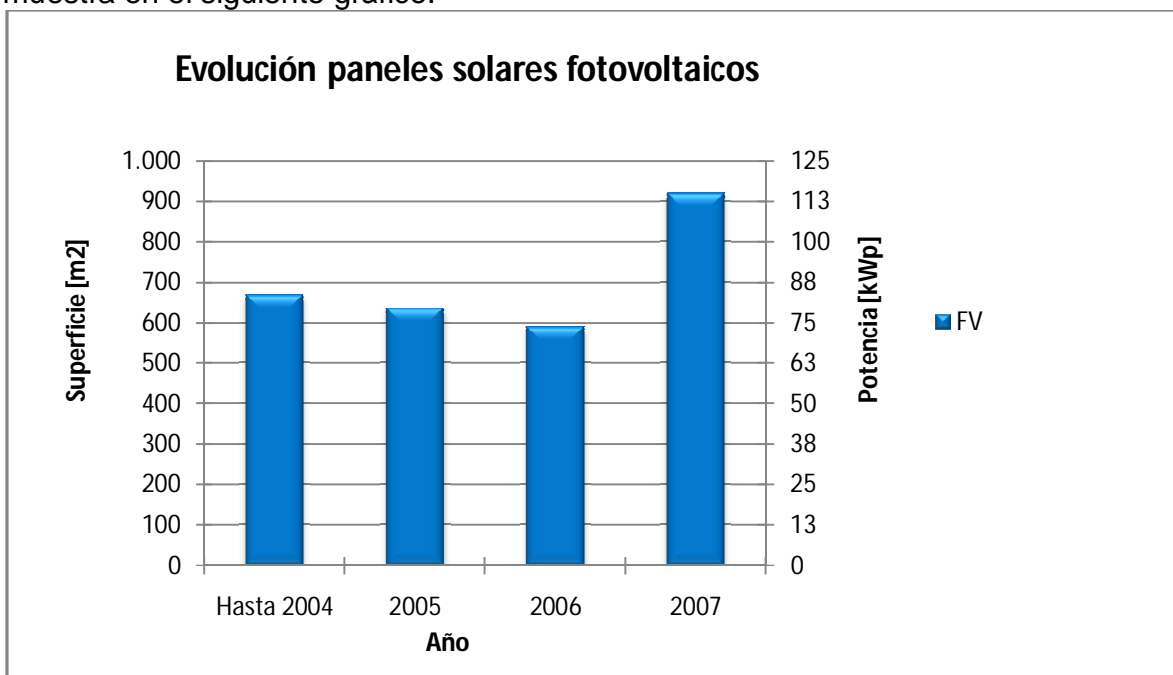


Gráfico 27: Evolución paneles solares fotovoltaicos instalados por año.

Se tiene una leve disminución en la cantidad de paneles fotovoltaicos instalados para el año 2006, pero luego se ve un crecimiento de un 56% desde el año 2006 al año 2007. Para el caso de los paneles solares fotovoltaicos también se ve una tendencia al alza, aunque más leve que para los térmicos. Esto es consecuente con la viabilidad económica de ambos tipos de paneles solares en Chile ya que la energía producida por paneles solares térmicos es competitiva, no así la fotovoltaica en sector residencial. De todas formas se ve un crecimiento de paneles fotovoltaicos por su uso en regiones y sectores aislados de electricidad.

### 9.3 Demanda Proyectada

Existen diferentes métodos para la estimación de pronósticos, estos pueden ser cualitativos o cuantitativos. Los cuantitativos necesitan de datos históricos para calibrar un modelo y luego para validarlo. Además la extrapolación de series de tiempo funciona bajo el supuesto de que el futuro debe ser como el pasado.

Dada la poca información histórica existente en Chile se han utilizado datos de un país con una cultura similar y un nivel de radiación semejante como es España. Se tienen los datos desde 1998 a 2007, los que fueron ajustados por la población, radiación media y PIB a Chile. Los métodos cualitativos por contraparte no necesitan de información pasada para la realización del pronóstico y se basan en los juicios subjetivos de las personas. La idea para la proyección de la demanda es cruzar los resultados de ambos modelos cuali y cuantitativos.

#### 9.3.1 Proyección: panel solar térmico

- **Método Causal**

Este método establece un modelo introduciendo variables explicativas a la variable dependiente, en el cual el peso o coeficiente de las variables se determina mediante una regresión. Para esto se necesitan datos históricos los cuales serán utilizados para calibrar y validar los modelos. Se cuenta con 10 años de información histórica obtenida de los registros de España; la calibración fue realizada con los 6 primeros años y la validación con los 4 últimos.

Se desea estimar la cantidad de m<sup>2</sup> instalados mediante las variables predictivas: Precio del petróleo, Número de viviendas y el tiempo (período).

Resumen del modelo:

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,993	0,986	0,965	482,368

Variables predictoras: (Constante), Viviendas, Precio petróleo, tiempo.

Tabla 19: Resumen del modelo causal para paneles solares térmicos.

Se puede ver un buen ajuste para el modelo, con un R cuadrado corregido bastante cercano a uno. Luego, los coeficientes obtenidos utilizando el período de calibración para este modelo son:

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Significancia
	B	Error típ.	B	Error típ.
1 (Constante)	5.990,68	2.748,74	2,1794	0,1611
Viviendas	-0,03	0,02	-1,9193	0,1949
Petróleo <sup>1</sup>	142,73	76,51	1,8656	0,2031
tiempo	1.356,60	214,95	6,3112	0,0242

Variable dependiente: m<sup>2</sup>

Tabla 20: Coeficientes para el modelo causal de paneles solares térmicos.

<sup>1</sup>Valor del Petróleo en dólar nominal por barril, fuente: Energy Information Administration (EIA), Annual Energy Outlook.

Con esto, el modelo se escribiría de la siguiente forma:

$$y_i = 5.990,68 - 0,03 * Viviendas_i + 142,73 * Petróleo_i + 1.356,6 * t$$

Ecuación 6: Modelo causal para panel solar térmico.

De la tabla anterior, se tiene que las variables “Viviendas”, “Petróleo” e incluso la constante presentan una significancia mayor a 0,05 por lo que estas variables no son capaces de explicar la variable dependiente; sólo la variable “tiempo” es significativa en este modelo por lo que se realiza un pronóstico mediante el cual se considera únicamente a la variable “tiempo” como predictiva en el modelo, utilizando diferentes curvas o ecuaciones para encontrar el más acertado.

- **Serie de tiempo**

Así como se explicó anteriormente, se utilizan los datos ajustados de España de 1998 a 2003 para calibrar los diferentes modelos. La estimación de los parámetros se muestra en la siguiente tabla:

Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros

<b>Variable dependiente: m<sup>2</sup> equivalentes Chile ajustado con PIB y radiación media</b>									
<b>Modelo</b>	<b>Resumen del modelo</b>					<b>Estimaciones de los parámetros</b>			
	<b>R cuadrado</b>	<b>F</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>	<b>Constante</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b3</b>
Lineal	0,955	85,330	1	4	0,001	1724,647	1340,054		
Cuadrático	0,961	36,869	2	3	0,008	1064,111	1835,456	-70,772	
Cúbico	0,974	24,887	3	2	0,039	3111,820	-740,432	782,440	-81,2
Compuesto	0,928	51,683	1	4	0,002	2640,410	1,260		
Potencia	0,946	70,410	1	4	0,001	2879,193	0,660		
S	0,832	19,751	1	4	0,011	9,223	-1,308		
Crecimiento	0,928	51,683	1	4	0,002	7,879	0,231		
Exponencial	0,928	51,683	1	4	0,002	2640,410	0,231		

Tabla 21: Resumen del modelo de serie de tiempo para paneles solares térmicos.

Se tomaron los modelos cuyo R<sup>2</sup> es mayor a 0,9 para validarlos con los datos de los últimos 4 períodos, de 2004 a 2007: Las proyecciones de los diferentes modelos se muestran en el Anexo 11. Luego se calculó el error porcentual medio absoluto MAPE (mean absolute porcentaje error) de acuerdo a la Ecuación 5:

<b>Modelo</b>	<b>MAPE</b>
Lineal	22,7%
Cuadrático	30,6%
Cúbico	75,1%
Compuesto	16,8%
Potencia	29,3%
Crecimiento	16,8%
Exponencial	16,8%

Tabla 22: Error porcentual medio absoluto MAPE, para modelo de serie de tiempo de panel solar térmico.

El que menor error tiene al momento de validar los datos es el modelo exponencial (el modelo del crecimiento y compuesto se ajustaron de forma tal que todos los valores coinciden con el exponencial). Este modelo tiene la siguiente forma:

$$y(t)=b_0 * t^{b1} \Rightarrow y(t)= 2640,4 * t^{0,231}$$

Ecuación 7: Modelo de serie de tiempo para panel solar térmico.

Partiendo con la superficie instalada que existe en Chile al año 2007 y proyectando de acuerdo a los valores de la fórmula anterior, se tienen los siguientes valores para la superficie anual instalada hasta el año 2020.

<b>Año</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
2007	6.663
2008	8.397
2009	10.583
2010	13.339
2011	16.812
2012	21.189
2013	26.705
2014	33.658
2015	42.421
2016	53.466
2017	67.386
2018	84.931
2019	107.043
2020	134.912

Tabla 23: Proyección con serie de tiempo para panel solar térmico.

Estos valores corresponden a un crecimiento exponencial que se puede ver en el siguiente gráfico:

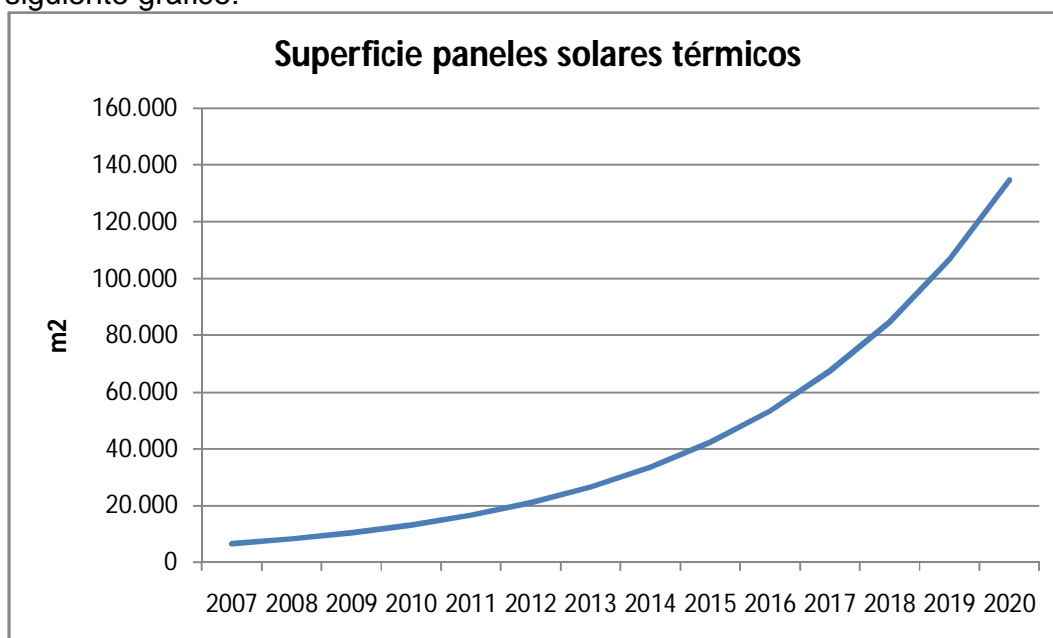


Gráfico 28: Superficie proyectada en Chile mediante serie de tiempo al año 2020 de paneles solares térmicos.

- **Método Delphi**

Este es un método cualitativo que se utiliza para realizar pronósticos de demanda. El método Delphi reúne juicios subjetivos individuales para elaborar un juicio colectivo. Se escoge un grupo de expertos, a los que se pide que realicen juicios sobre un pronóstico de forma individual. Se tomaron 6 especialistas de diferentes sectores: gobierno (CNE), empresa de electricidad (Chilectra) y cuatro dueños de las mismas empresas de paneles solares. Se realizaron 3 iteraciones en las que los juicios fueron recopilados, analizados y devueltos a los miembros del grupo hasta llegar a un consenso. El detalle con la varianza de las iteraciones se muestra en el Anexo 12.

La idea es contrastar los resultados de este método cualitativo con el cuantitativo. Las proyecciones obtenidas a través del método Delphi se han graficado junto con las proyecciones del modelo matemático en el cual se utilizaron los datos de España con la serie de tiempo.

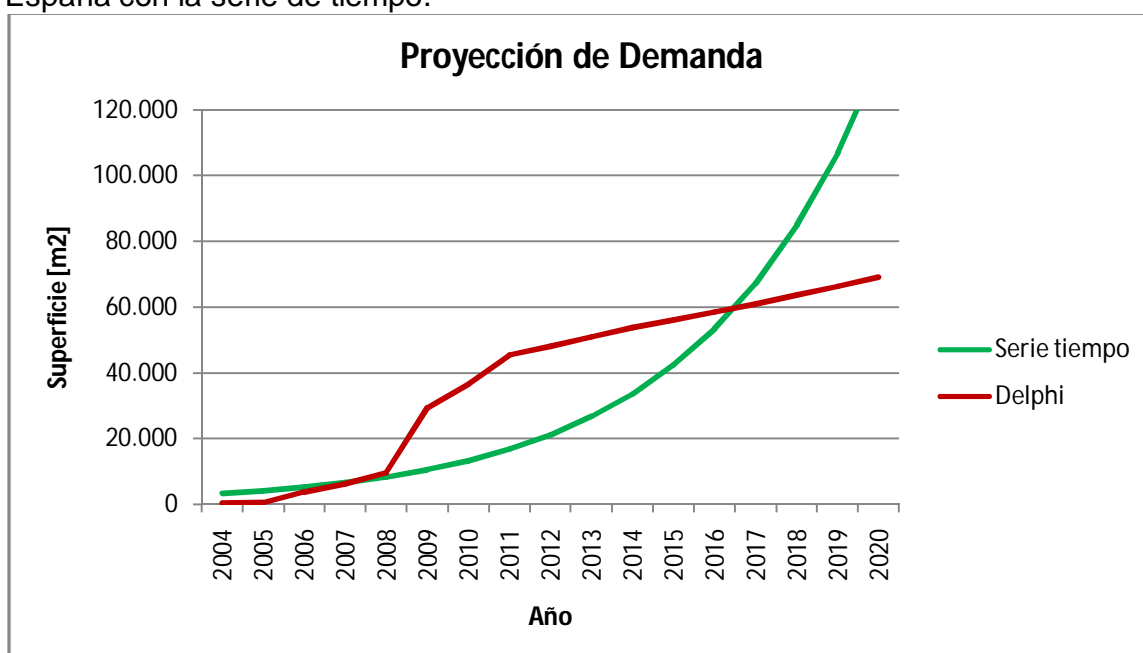


Gráfico 29: Superficie proyectada en Chile con método Delphi y serie de tiempo al año 2020 para paneles solares térmicos.

Se puede ver que ambas curvas se interceptan en el año 2016, pero la forma en llegar a ese punto y el comportamiento posterior de ambas curvas difiere bastante. La serie de tiempo tiene un comportamiento exponencial permanente que parte con un crecimiento lento y termina proyectando grandes superficies instaladas. Por contraparte el pronóstico realizado con el método Delphi parte con un fuerte crecimiento, influenciado por el subsidio que se espera sea aprobado en enero de 2009, cuya duración será de 5 años, razón por la cual el crecimiento disminuye considerablemente para los últimos años en estudio.

Para tener un pronóstico único y adecuado, se analizaron ambos resultados considerando la forma típica de la curva para las ventas en el ciclo de vida del producto. Detalle en Anexo 13.



Cruzando la información de la serie de tiempo (que toma los datos de España ajustados) con el método Delphi, de modo de obtener un pronóstico acertado ajustado a las características y condiciones de Chile se tiene:

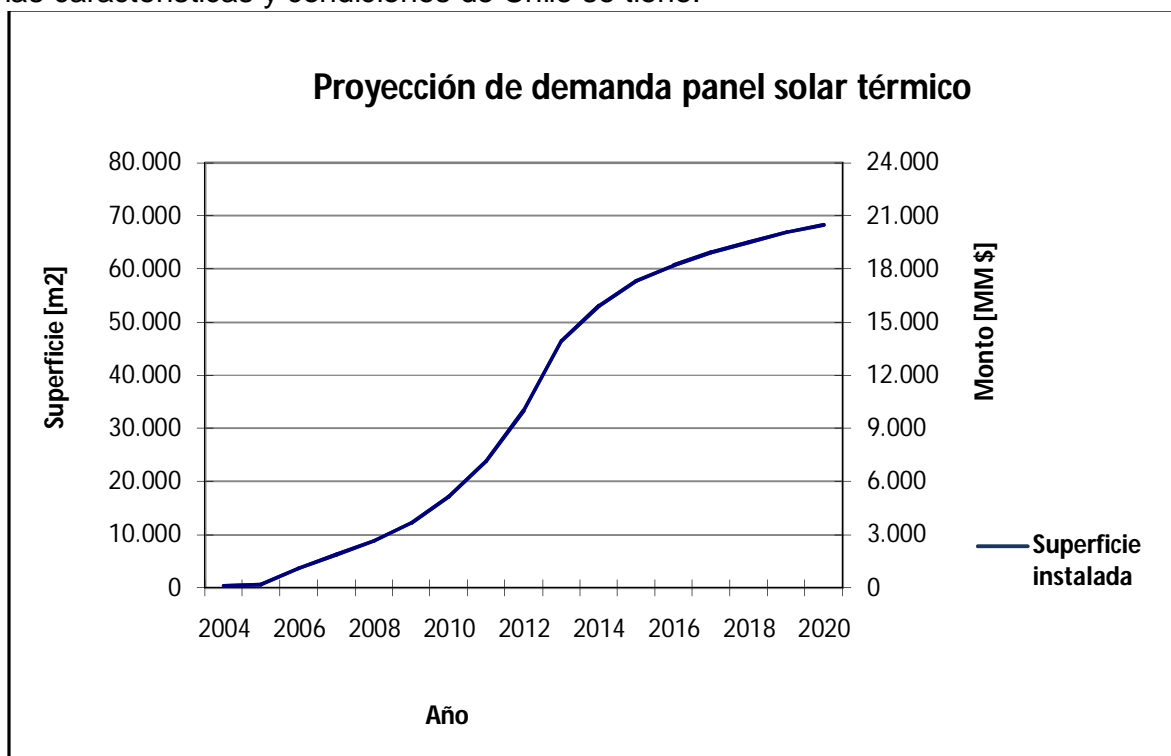


Gráfico 30: Proyección de demanda para panel solar térmico instalada por año.

El primer eje de las ordenadas muestra la proyección realizada en cuanto a la superficie del año 2008 hasta el año 2020, mientras que el segundo eje muestra la facturación anual aproximada de la industria en millones de pesos (estimando un metro cuadrado de panel solar en \$300.000.-). Se tiene una industria que factura unos 2.700 millones de pesos para el año 2008, con 8.800 m<sup>2</sup> y se proyecta que este valor aumente a 20.500 millones de pesos durante el año 2020, instalando una superficie de unos 68.500 m<sup>2</sup>.

Se estima una curva de esta forma, pues si bien el subsidio será de gran ayuda para impulsar el crecimiento de este mercado, el ciclo debe darse de forma progresiva, pasando por la fase de introducción del producto, estimada hasta fines de este año 2008, para pasar a una etapa de crecimiento hasta el año 2013, período en el que termina el beneficio del subsidio. Para este período se estima una curva de crecimiento con forma exponencial con un aumento porcentual del 40% al año. Posteriormente el aumento anual disminuye, pero no se ve mermado pues se prevé que entre los años 2014 y 2016 el precio del petróleo vuelva a tender al alza, dado que se empezarán a consumir las últimas reservas de este combustible. Esta razón generaría que aumente aún más la rentabilidad para el uso de energía solar en ese período, manteniendo las ventas en alza.

El siguiente gráfico muestra la proyección de la demanda acumulada entre los años 2004 y 2020 y la cantidad de CO<sub>2</sub> que se dejaría de emitir al ambiente.

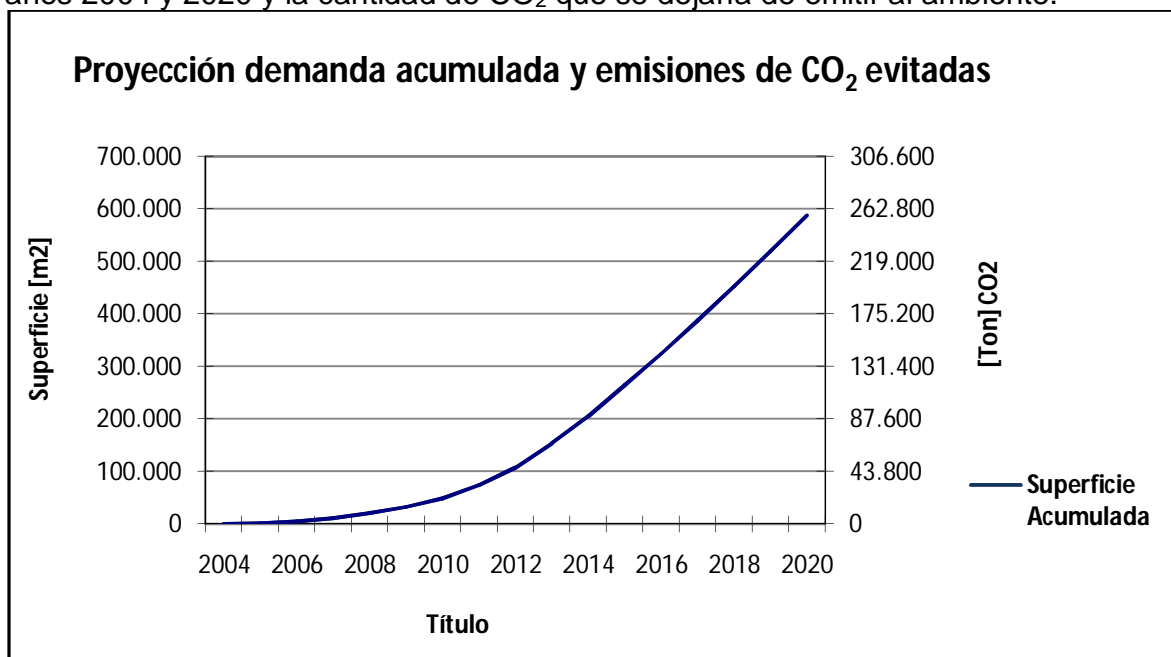


Gráfico 31: Proyección de demanda acumulada y emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas para panel solar térmico.

Luego se muestran los valores en metros cuadrados instalados y acumulados que se proyectan desde 2008 hasta el año 2020.

Año	Proyección demanda anual [m <sup>2</sup> ]	Proyección acumulada [m <sup>2</sup> ]
2008	8.802	19.898
2009	12.279	32.178
2010	17.130	49.307
2011	23.896	73.203
2012	33.335	106.538
2013	46.502	153.041
2014	53.013	206.053
2015	57.784	263.837
2016	60.673	324.510
2017	63.100	387.610
2018	64.993	452.603
2019	66.943	519.546
2020	68.282	587.827

Tabla 24: Valores de proyección de demanda anual y acumulada para panel solar térmico.

Se espera tener una superficie de unos 590.000 m<sup>2</sup> instalados para el año 2020 en Chile con lo que se dejarían de emitir unas 260.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al ambiente.

### 9.3.2 Proyección: panel solar fotovoltaico

Para el pronóstico de demanda de los paneles solares fotovoltaicos, se utilizan dos modelos cuantitativos, el método causal y el de serie de tiempo. En este caso no se incluirá dentro del análisis el método Delphi, pues éste necesita comparar opiniones de al menos 6 expertos en el tema, cantidad que es demasiado elevada para este mercado emergente y por otra parte su desarrollo depende fuertemente de decisiones políticas gubernamentales y mejoras tecnológicas de las células fotovoltaicas respecto a la relación entre su eficiencia y precio, por lo que un experto no tendrá las herramientas necesarias para realizar un pronóstico acertado.

- **Método Causal**

De modo similar al caso de los paneles solares térmicos, se utilizó el método causal, para predecir la cantidad de kilo Watt consumidos, tomando como variables independientes el tiempo, precio del petróleo y cantidad de viviendas.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error de estimación	típ. la
1	0,9302126	0,86529549	0,66323872	286,740382	
Variables predictoras: (Constante), t, Petróleo, Viviendas*					

Tabla 25: Resumen del modelo, panel solar fotovoltaico.

Si bien el ajuste del modelo  $R=0,93 \sim 1$  es un valor razonable, el R cuadrado corregido que muestra el error del modelo eliminando el efecto del aumento de las variables predictivas, es bajo.

Los coeficientes que arroja el modelo son los siguientes:

Modelo	Coeficientes estandarizados		no t		Sig.	
	B	Error típ.	B	Error típ.		
1 (Constante)	-1.117,4	1.880,8	-0,594	0,613		
Petroleo <sup>1</sup>	20,1460	41,330	0,487	0,674		
Viviendas*	0,00175	0,01131	0,155	0,891		
t	153,072	128,444	1,192	0,356		
Variable dependiente: kW						

Tabla 26: Coeficientes para modelo causal, panel solar fotovoltaico.

<sup>1</sup>Dólar nominal por barril, fuente: Energy Information Administration (EIA), Annual Energy Outlook 2008.

En este caso ninguna de las variables tiene significancia estadística. Luego se validó de todas formas el modelo y se obtuvo un error MAPE= 74,6%, el cual se considera elevado y por las dos razones anteriormente mencionadas se descarta la utilización de este modelo.

- **Serie de tiempo**

Posteriormente se realiza el pronóstico utilizando diferentes modelos mediante series de tiempo. Se utilizan los datos de 1999 a 2004 para la calibración y en la siguiente tabla se muestran el resumen del modelo junto con las estimaciones de los parámetros:

**Variable dependiente: kW**

Modelo	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,817	17,895	1	4	0,013	-407,667	238,774		
Logarítmica	0,639	7,090	1	4	0,056	-225,732	596,214		
Cuadrático	0,937	22,229	2	3	0,016	175,700	-198,75	62,504	
Cúbico	0,964	17,741	3	2	0,050	-392,619	516,157	-174,29	22,552
Compuesto	0,905	38,309	1	4	0,003	3,824	2,856		
Potencia	0,978	179,08	1	4	0,000	5,142	3,079		
S	0,922	47,063	1	4	0,002	7,595	-6,321		
Crecimiento	0,905	38,309	1	4	0,003	1,341	1,049		
Exponencial	0,905	38,309	1	4	0,003	3,824	1,049		

Tabla 27: Resumen del modelo serie de tiempo para paneles solares fotovoltaico.

Se tiene que con excepción del modelo logarítmico, todos son significantes (significancia < 0,05) y presentan un R<sup>2</sup> bastante cercano a uno, es decir, los modelos se ajustan a los datos reales.

Luego, se validaron los modelos con los datos del año 2005 a 2007 y se calculó el error para los modelos, obteniendo:

Modelo	MAPE
Lineal	80,4%
Logarítmica	85,9%
Cuadrático	69,8%
Cúbico	57,3%
Compuesto	57,5%
S	65,4%
Potencia	87,7%
Crecimiento	57,5%
Exponencial	57,5%

Tabla 28: MAPE en modelo serie de tiempo para paneles solares fotovoltaico.

El modelo que presenta un menor error al momento de validar los datos es el Cúbico:

$$y(t) = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^2) + (b_3 * t^3) \Rightarrow y(t) = -392,6 + (516,2 * t) + (-174,3 * t^2) + (22,6 * t^3)$$

Ecuación 8: Modelo serie de tiempo para panel solar fotovoltaico.

Los datos proyectados con este modelo son los siguientes:

Año	kW
2007	123
2008	196
2009	327
2010	650
2011	1.301
2012	2.415
2013	4.128
2014	6.575
2015	9.892
2016	14.212
2017	19.673
2018	26.409
2019	34.555
2020	44.247

Tabla 29: Proyección con de serie de tiempo para panel solar fotovoltaico.

Esto quiere decir que el año 2007 se habrían generado unos 120 kW mediante paneles fotovoltaicos, lo cual aumentaría por sobre los 40.000 kW para el año 2020.

Esta proyección se muestra en el siguiente gráfico:

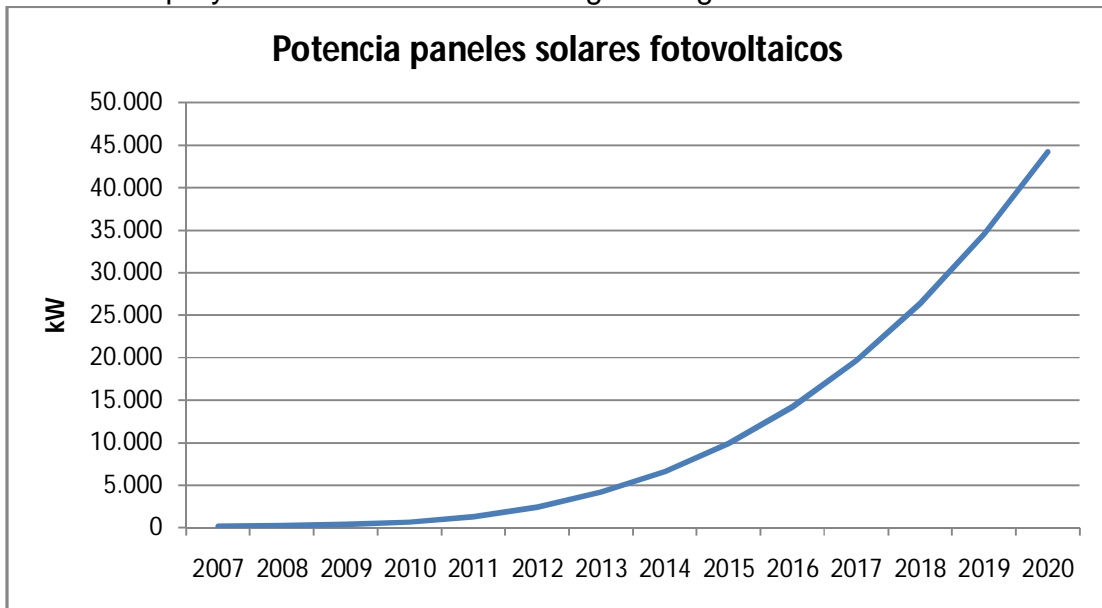


Gráfico 32: Potencia proyectada en Chile al año 2020 de paneles solares fotovoltaicos.

Siguiendo la tendencia del mercado en España se proyecta un constante aumento en las instalaciones fotovoltaicas. Si bien actualmente no es rentable la instalación de este tipo de tecnología, se espera que su costo disminuya y que se implanten medidas gubernamentales, tales como el incentivo a las empresas a comprar electricidad de fuentes renovables o conexión de la energía captada por el panel solar a la red, tal como se realiza en otros países.

## **10 Conclusiones**

El presente trabajo muestra un análisis sobre el mercado de los paneles solares en Chile, en el que se realiza una caracterización de la oferta de paneles solares en el país y una descripción de la demanda, con lo que se han podido determinar las condiciones actuales de este mercado y de esta forma conocer las oportunidades de negocio. Para desarrollar conclusiones más robustas, se ha realizado un estudio de viabilidad económica sobre la utilización de paneles solares térmicos y fotovoltaicos en sector residencial, que sirve de apoyo para los análisis, las proyecciones y el dimensionamiento del mercado realizados a mediano plazo.

### **10.1 Conclusiones Generales**

El mercado de los paneles solares térmicos tiene un elevado potencial de crecimiento en Chile, pues dada la gran cantidad de radiación que se recibe en el país y los valores actuales de la energía proveniente de fuentes convencionales, hacen que la energía producida por un panel solar tenga valores competitivos. La realización de un proyecto de este tipo se considera bastante atractiva, pues posee una alta rentabilidad y además se trata de una tecnología que si bien en Chile está recién surgiendo, está probada en otros países por lo que en caso de realizar una instalación de calidad, es un proyecto que posee un bajo riesgo.

El valor con el cual se puede aprovechar la energía solar mediante paneles solares térmicos entrega valores competitivos, comparándolos con las tarifas domiciliarias de las empresas distribuidoras desde la región de Aysén al norte, esto corresponde a las regiones en las que vive el 99% de la población de Chile. La región de Magallanes tiene un período de amortización superior a los 25 años, dado principalmente por la gran abundancia y el bajo valor del gas natural en esa región (6 veces menor al de la RM).

Para precios de la energía similares en el país, se tienen períodos de amortización proporcionales a la radiación recibida, pasando de 3 años en zonas del Norte Grande a 6 en la zona sur al ser comparado con gas licuado. Estos períodos de amortización tienen grandes variaciones si se les compara con electricidad, aumentando el VAN en un promedio de un millón de pesos, donde la utilización de paneles solares térmicos pasa a ser rentable incluso en la región de Magallanes.

Por otra parte se tiene que el período de amortización aumenta si se utilizan menores volúmenes de agua caliente. Dado los costos fijos del sistema como la aislación de cañerías y soportes, es que para una o dos personas que utilicen 50 litros de agua caliente al día cada una, el sistema de paneles térmicos alcanza períodos de amortización superior a los 10 años, por lo que se recomienda su uso para familias más numerosas.

Ante inestabilidades en el precio del combustible, el período de amortización sufre importantes variaciones ya que por ejemplo una disminución del 20% en el precio del gas licuado, significa un aumento en un 25% en el período de amortización.

En el caso de los paneles solares fotovoltaicos la situación es diferente. La gran diferencia entre los paneles solares térmicos y fotovoltaicos para la evaluación económica es su rendimiento. Esto se da, ya que su funcionamiento es completamente diferente, pues el panel térmico simplemente debe captar la radiación para utilizar esa energía en calentar el agua que circula en su interior, lo cual se da en un porcentaje bastante alto, entonces si el sistema esta bien aislado de modo de reducir las pérdidas, el rendimiento del sistema puede llegar fácilmente a valores sobre el 50%. El caso del panel fotovoltaico es distinto, pues la energía recibida en el panel debe excitar a los electrones de la placa de silicio para que sean capaces de producir corriente y en ese proceso se refleja gran cantidad de luz que no es capaz de ser absorbida por la placa. El rendimiento típico para células monocristalinas es de 18% en condiciones de laboratorio el cual disminuye en condiciones reales. Contrastando el rendimiento con el precio de las células fotovoltaicas, hace que este tipo de tecnología hoy en día no sea rentable para las condiciones de Chile.

En cuanto a la oferta, se puede observar un gran hermetismo de información dentro de las empresas. A pesar de existir una asociación que reúne a las empresas, no existe cooperación entre los integrantes de esta misma industria que desean mantener su *know how* del modo más confidencial posible, siendo este un mercado que no se ayuda para potenciarse.

Por otra parte, la distribución de las empresas que ofrece paneles solares térmicos, se tiene que la gran mayoría están ubicadas en la Región Metropolitana y la Quinta Región. Ello es de esperarse, dado que son las ciudades con más habitantes de Chile y presentan un alto nivel de radiación. Sin embargo, hay regiones como Coquimbo, las cuales tienen un gran potencial económico de desarrollo que no tienen oferta local para la instalación de paneles solares. Por esto falta explotar el uso de paneles solares en las zonas más rentables.

El índice de utilización de paneles solares en Chile esta muy por debajo en comparación con otros países de la Unión Europea ya que este mercado esta emergiendo y por esto ha tenido grandes porcentajes de aumento en cuanto a instalaciones nuevas para los últimos años.

Por su parte, la demanda local de paneles solares térmicos proviene en su gran mayoría por la zona centro y norte del país, obteniendo el 95% de la demanda total. Esto es intuitivamente correcto puesto que la radiación solar es mayor en esas zonas, sin embargo, según el estudio de viabilidad económica realizado se pudo ver que existen regiones en el sur donde el uso de energía solar térmica es igualmente rentable que en las zonas centro y norte. Esto demuestra que existe falta de conocimiento y confianza de los clientes para poder sacarle provecho a este tipo de energía en todas las zonas donde es rentable.

En el último capítulo de este trabajo se realizó la proyección de la demanda y dentro de los modelos estudiados para la proyección de la demanda, el de serie de tiempo exponencial fue el que presentó un mejor ajuste. Se descartó el modelo causal pues sus variables demostraron no tener poder predictivo, reflejándose esto en su mayor error y desajuste asociado para el período de validación.

Este es un mercado que se proyecta con un gran crecimiento impulsado en estos próximos cinco años con el subsidio dado por el gobierno y en el largo plazo, pues la tendencia en el precio de la energía es al alza, mientras que baja el costo de la tecnología para el aprovechamiento de la energía solar.

Para el caso de los paneles solares fotovoltaicos, se espera que se desarrollen nuevas tecnologías con materiales económicos logrando hacer a la energía solar más competitiva y que el gobierno desarrolle políticas de fomento al uso de energía solar fotovoltaica tal como en otros países. Esto, sumado a la tendencia al alza del precio las energías convencionales, hace prever un escenario de crecimiento al largo plazo, así como para los paneles solares térmicos.

## **10.2 Recomendaciones**

- Es conveniente regularizar el mercado de los paneles solares en Chile con el objeto de entregar a los consumidores:
  - Certificación en cuanto a instalaciones de calidad.
  - Información transparente sobre los diferentes tipos de productos, sus usos y valores de los equipos.
- Se recomienda realizar fuertes esfuerzos de marketing por parte de las empresas para darse a conocer y ser recordados por los consumidores.
- Al grupo de empresas que venden paneles solares les convendría organizarse para trabajar en conjunto a modo de dar a conocer las múltiples ventajas que tiene la utilización de la energía solar. Por ejemplo, a través de la Asociación Chilena de Energía Solar (Acesol), realizar publicidad de la energía solar para crear consciencia en los consumidores y aumentar las ventas de sus asociados.
- Fomentar la utilización de este tipo de energía a mayor escala, como campings u hoteles, teniendo personal técnico capacitado de tal forma de realizar las instalaciones adecuadamente.



## 11 Bibliografía

- [1] <http://www.acesol.cl/>
- [2] [http://www.cgedistribucion.cl/tarifas\\_bt1.htm](http://www.cgedistribucion.cl/tarifas_bt1.htm)
- [3] <http://www.cogeneracion.org/archivo/200064.pdf>
- [4] <http://www.cne.cl/>
- [5] <http://www.cne.es/>
- [6] <http://www.dforcesolar.com/>
- [7] <http://www.economiaynegocios.cl/mercados/monedas.asp>
- [8] <http://www.eia.doe.gov/oiaf/forecasting.html>
- [9] <http://www.enap.cl/>
- [10] <http://www.estif.org/>
- [11] <http://www.gea.usm.cl/proyectos.html>
- [12] <http://www.geocities.com/Pentagon/Quarters/7578/pros01.html>
- [13] <http://www.ine.cl/>
- [14] <http://www.ine.es/>
- [15] <http://www.junkers.cl/faq.asp>
- [16] [http://www.labsolar.utfsm.cl/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=10](http://www.labsolar.utfsm.cl/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=10)
- [17] <http://www.programapaiseficienciaenergetica.cl/>
- [18] <http://www.sitiosolar.com/>
- [19] <http://www.svc.cl/>
- [20] <http://www.worldenergy.org/>
- [21] <http://energiasolar.110mb.com/?b=energia-solar&a=a>
- [22] <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document>
- [23] <http://mail.fne.cl/db/actualidad.nsf/88f4113ea5bc795b8425733e00712d52/3021F290D1E6885E842572E40051927E?OpenDocument>
- [24] Informe MACH, Macroeconomía y Construcción, abril 2008
- [25] MARKS, L. 1967. Manual del ingeniero mecánico de Marks. México, Hispano-Americana. pp. 888-889.
- [26] MANKIWI, G. 2002. Principios de Economía. 2ª ed. Madrid, McGraw-Hill. pp. 215-226.

## 12 Anexos

### 12.1 Anexo 1: Radiación solar para las regiones del país

La siguiente tabla muestra la radiación solar media para las regiones del país.

Región\Radiación	[kcal/m <sup>2</sup> ] día	[Wh/m <sup>2</sup> ] día	[MMBtu/m <sup>2</sup> ] día
RM	3.570	4.151	0,014157
I	4.554	5.295	0,018060
II	4.828	5.614	0,019146
III	4.346	5.053	0,017235
IV	4.258	4.951	0,016886
V	3.520	4.093	0,013959
VI	3.676	4.274	0,014578
VII	3.672	4.270	0,014562
VIII	3.475	4.041	0,013781
IX	3.076	3.577	0,012198
X	2.626	3.053	0,010414
XI	2.603	3.027	0,010323
XII	2.107	2.450	0,008356
Antártica	1.563	1.817	0,006198

Tabla 30: Radiación solar diaria.

Factor de conversión: kWh=860,4 kcal=0,0034122 MMBtu, donde MM=10<sup>6</sup>.

Fuente: Archivo solarimétrico nacional, Universidad Técnica Federico Santa María.

### 12.2 Anexo 2: Precio gas licuado

Región\tarifa	[\$/(45 kg)]	[\$/kg]	[US\$/MMBtu]	[US\$/MMBtu] efectivos <sup>1</sup>
RM	42.758	950	33,3	41,6
I	48.520	1.078	37,7	47,2
II	49.450	1.099	38,5	48,1
III	47.018	1.045	36,6	45,7
IV	45.683	1.015	35,5	44,4
V	46.240	1.028	36,0	45,0
VI	43.363	964	33,7	42,2
VII	43.628	970	33,9	42,4
VIII	43.544	968	33,9	42,3
IX	43.539	968	33,9	42,3
X	44.140	981	34,3	42,9
XI	47.745	1.061	37,1	46,4
XII	36.933	821	28,7	35,9

Tabla 31: Precio gas licuado, agosto 2008.

Detalle de transformación de unidades descrito a continuación en Ejemplo de cálculo.

<sup>1</sup>[US\$/MMBtu] efectivos: corresponde al valor donde se incorpora el 80% del rendimiento del calefón.

Fuente: Comisión Nacional de Energía (CNE), valores para cilindro de 45 kg.

## Ejemplo de cálculo

### 1. Transformación de unidades de energía para gas licuado

Para transformar 1 **\$/kg** de gas licuado a **US\$/MMBtu** se procede de la siguiente forma y con los datos que se muestran a continuación:

- Poder calorífico superior (P.C.S.) de gas licuado = 12.000 kcal/kg
- 1 US\$ = 600 \$ chilenos

$$1 * \frac{\$}{kg(GLP)} * \frac{kg(GLP)}{12.000 \text{ kcal}} * \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}} * \frac{252 \text{ cal}}{1 \text{ Btu}} * \frac{1.000.000 \text{ Btu}}{MMBtu} * \frac{1 \text{ US\$}}{600 \$} = 0,035 \frac{\text{US\$}}{MMBtu}$$

$$\Leftrightarrow 1 \frac{\$}{kg(GLP)} = 0,035 \frac{\text{US\$}}{MMBtu}$$

Donde

GLP= gas licuado petróleo

MM= millón

### 2. Transformación de unidades de energía para electricidad

Para transformar 1 **\$/kWh** de electricidad a **US\$/MMBtu** se procede de la siguiente forma y con los datos que se muestran a continuación:

- 1 US\$ = 600 \$ chilenos

$$1 * \frac{\$}{kWh} * \frac{1 \text{ kWh}}{3.412,2 \text{ Btu}} * \frac{1.000.000 \text{ Btu}}{MMBtu} * \frac{1 \text{ US\$}}{600 \$} = 0,488 \frac{\text{US\$}}{MMBtu}$$

$$\Leftrightarrow 1 \frac{\$}{kWh} = 0,488 \frac{\text{US\$}}{MMBtu}$$

### 12.3 Anexo 3: Precio electricidad

Valores kWh para BT1 (tarifa a sector residencial), agosto 2008

Región	Empresa distribuidora	[\$/kWh] de verano	Ciudad
RM	Chilectra	112,0	Santiago
I	Eliqsa	99,2	Iquique
II	Eliqsa	99,2	Antofagasta
III	Emelat	118,4	Copiapó
IV	Conafe	129,6	La Serena
V	ChilQuinta	121,6	Valparaíso
VI	CGE	120,0	Rancagua
VII	CGE	120,0	Talca
VIII	CGE	118,4	Concepción
IX	CGE	128,0	Temuco
X	Socoepa	179,2	Los Lagos
XI	Edelaysen	184,0	Coihaique
XII	Edelmag	131,2	Punta Arenas

Tabla 32: Valor kWh de empresa distribuidora de electricidad.

Fuente: Superintendencia de Electricidad y Combustibles, valores a marzo 2006 ajustados en base a tarifa de Chilectra con factor de corrección igual a 1,6.

### 12.4 Anexo 4: Amortización ante variaciones de GLP en RM

Tarifa\Escenario	-10% aumento/año	-5% aumento/año	0,1% aumento/año	5% aumento/año	10% aumento/año
[US\$/MMBtu] \Amortización	[Años]	[Años]	[Años]	[Años]	[Años]
20	>20	11,3	8,3	7,1	6,3
23	13,5	8,3	6,8	5,9	5,4
27	8,5	6,8	5,8	5,2	4,8
31	6,8	5,7	5,0	4,6	4,3
35	5,7	4,9	4,4	4,1	3,8
39	4,9	4,3	3,9	3,7	3,5
43	4,3	3,8	3,6	3,4	3,3
47	3,8	3,5	3,3	3,2	3,0
51	3,4	3,3	3,1	2,9	2,8
55	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6
59	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4
63	2,7	2,6	2,4	2,3	2,3
66	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2
70	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1
74	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0
78	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8

Tabla 33: Sensibilidad de la amortización de panel solar térmico ante variaciones en el valor del gas licuado petróleo (GLP) de la compañía distribuidora para 5 escenarios de aumento anual del GLP en RM.

## 12.5 Anexo 5: Amortización ante variaciones en el precio de la energía para regiones

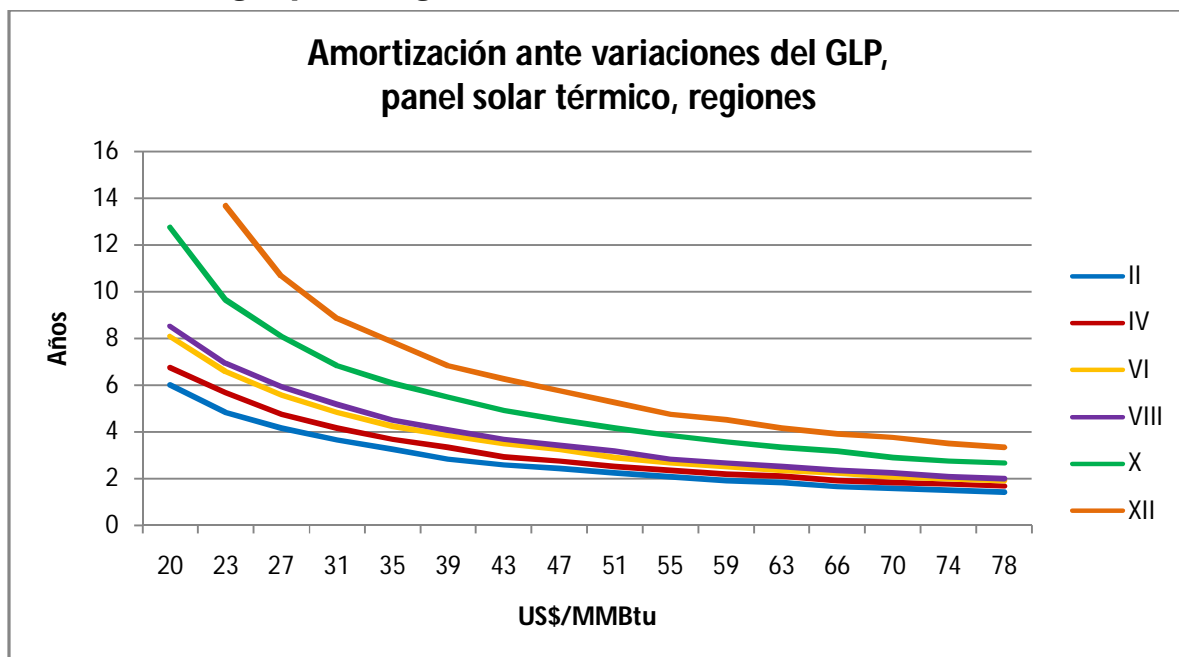


Gráfico 33: Sensibilidad de la amortización de panel solar térmico ante variaciones en el valor del gas licuado petróleo (GLP) de la compañía distribuidora para algunas regiones de Chile, en el escenario de 0,1% aumento anual del GLP.

## 12.6 Anexo 6: Detalle del subsidio a paneles solares térmicos

La siguiente tabla muestra los topes del beneficio del subsidio a paneles solares térmicos por viviendas:

Año	Sistemas Individuales	Sistemas Colectivos	
	UF/Vivienda	CST <sup>1</sup> <80m <sup>2</sup>	CST>120m <sup>2</sup>
		UF/Viv	UF/Viv
2009	33,5	29,5	26
2010	32,5	29	25,5
2011	32	28	24,5
2012	31	27,5	24
2013	30	26,5	23,5

Tabla 34: Topes del beneficio tributario a paneles solares térmicos.

<sup>1</sup>CST=Colector Solar térmico o panel solar térmico.

Fuente: Comisión Nacional de Energía (CNE).

Esto quiere decir que para una vivienda individual, se dará un subsidio máximo de 33,5 UF para el año 2009. El monto del subsidio depende del valor de la vivienda según criterios que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de vivienda	Cobertura del subsidio
Viviendas <= 2000 UF	100% del valor del sistema solar
2000 UF < Viviendas <= 3000 UF	40% del beneficio tope por vivienda

3000 UF < Viviendas <= 4500 UF	20% del beneficio tope por vivienda
Viviendas > 4500 UF	0%

Tabla 35: Cobertura del subsidio según valor de la vivienda.  
Fuente: Comisión Nacional de Energía (CNE).

## 12.7 Anexo 7: Listado de empresas

A continuación se muestra una lista con las empresas que venden paneles solares en Chile, la región en la que operan, su página web y el nombre de contacto.

	Empresa	Región	web	Contacto
1	Aguamarket	RM	www.aguamarket.com	
2	A&N Ingeniería y Construcción	VIII	www.ayn.cl	Felipe Núñez
3	AEMenergia	V	www.aemenergia.cl	Alejandro Espejo
4	ANWO	RM	www.anwo.cl	Patricio Geni
5	ARKENTE S.A.	RM	www.arkente.cl	Fernando Rivera
6	ARSTECNE-F	RM	www.arstecne.com	Gastón Gatica
7	Asilav-Solar	V	www.asilav.cl	Luis Seguel
8	ASPROCOM LTDA.	RM	www.asprocom.cl	Jorge Pérez
9	AUTOFLAME - SCHUCO	RM	www.schueco.com	Roberto Voigt
10	AVALCK	RM	www.avalck.com	Juan Valck
11	BARTECH	RM	www.bartech.cl	Víctor Herrera
12	BETA	RM	www.energiafuturo.com	Gabriel Arévalo
13	Britec	RM	www.britec.cl	
14	CALDER SOLAR	RM	www.calder.cl	Rafael Errazuriz
15	COMERCIAL HUANACU LTDA.	RM	www.eig.cl	Juan Poblete
16	COVASOLAR	II	www.covasolar.cl	Zamir Israeli
17	Creapor S.A.	RM	www.creapor.cl	Jorge Cifuentes
18	Chilesolar	RM	www.chilesolar.cl	Zvonimir Yutronic
19	Chisol S.A	RM	www.chisol.cl	José Carrasco
20	CHRISTOF HORN Y CIA. LTDA.	RM	www.heliplast.cl	Christof Horn Feja
21	ECODISSA	RM	www.ecodissa.cl	Denisse Malermo
22	Ecral Climatizaciones Ltda.	RM	www.ecral.cl	Cristián Oroz
23	EMINSOL	II		Oswaldo Tapia
24	Energía del Sur	RM	www.energiadelsur.com	Michael Schmidt
25	ENERGIA SOLAR CHILE S.A.	RM	www.solyvida.cl	Deysi Salas
26	Energis	V	www.energis.cl	
27	ENERGY GROUP S.A.	RM	www.energygroup.cl	Patricio Balbontín
28	ERNCLTDA.	RM	www.ernc.cl	José Carvallo
29	ESCO ENERGY	RM	www.escoenergy.cl	
30	EURO-SOLAR	V	www.euro-solar.cl	
31	Farenhouse Energy Group	RM	www.farenhouse.cl	Benjamín Millas
32	Glasstech	RM	www.glasstech.cl	Sergio García
33	Griferías Cobra	RM	www.griferiascobra.cl	Pedro Chubretovic
34	HELIOTEK - CODIFER	V	www.heliotek.cl	Franco Dalmazzo

35	Hidrosolar	RM	www.hidrosolar.cl	Pedro Gómez
36	ienergía	RM	www.ienergia.cl	Omar Sepúlveda
37	INGESOLAR	RM	www.ingesolar.cl	Cristina Domínguez
38	INSIX	RM	www.insix.cl	
39	INSOTERMIC	RM	www.insotermic.cl	Francisca Meneses
40	ISENER	RM	www.isener.com	Samuel Shats
41	JUNKERS S.A.	RM	www.junkers.cl	Leslie Barbazzo
42	LUMI SOLAR LTDA	RM	www.lumisolar.cl	Arturo Letelier
43	MACOSOLAR	RM	www.macosolar.cl	Eduardo Abarca
44	MEKIS ARNOLDS	RM	www.mekis-arnolds.cl	Palmira San Martín
45	MIROSOLAR	RM	www.mirosolar.cl	Francisco Zavala
46	NORTEI LTDA.	II	www.nortei.cl	
47	Passivhaus	X	www.renearenas.cl	René Arenas
48	Perch	RM	www.perch.cl	
49	PISCINERIA®	RM	www.piscineria.cl	
50	REHAU S.A.	RM	www.rehau.cl	Ulises Mesías
51	RENOVA SOLUCIONES ENERGETICAS	RM	www.renovaenergia.cl	Aníbal Huneus
52	RIOVALLE LTDA.	VIII	www.riovalle.cl	Mª Soledad Vallejo
53	SAVE ENERGY S.A.	RM	www.saveenergy.cl	Juan Carlos Parra
54	SIGESTA LTDA.	RM	www.sigesta.cl	David Avilés
55	SK ECOLOGIA S.A.	RM	www.ske.cl	Ernesto Bravo
56	Solahart Ltda.	II	www.solahart.cl	Javier Omonte
57	SOLAR ENERGY	RM	www.solarenergy.cl	Claudio Lara
58	SOLAR INTER PACIFICO	RM	www.interpacifico.cl	Rosario González
59	SOLAR SYSTEM	RM	www.solarsystem.cl	Darío Cami
60	Solar3	RM		Juan Carlos Farías
61	SOLARco®	RM	www.solarco.cl	Iván Álvarez
62	SOLAR-FREE CHILE	RM	www.solarfree.cl	Carlos Pizarro
63	Solener	RM	www.solener.cl	
64	SolTec Ltda.	V	www.soltec-ltda.cl	
65	Soluciones Ltda.	RM	www.solucionesco.cl	Juan Pablo Ruiz-Esquide
66	SOLYCLIMA	RM	www.solyclima.cl	Sergio Farías
67	TECNOLOGIA VIO SOLAR SA	RM	www.viosol.cl	Arturo Fuenzalida
68	TERMOSERVIC	RM	www.termoservic.cl	Hugo Avendaño
69	WINTER	RM	www.wintersa.cl	Daniel Salomón

Tabla 36: Listado de empresas de ventas de paneles solares, Chile.

## 12.8 Anexo 8: Encuesta

La encuesta realizada a las empresas que venden paneles solares en Chile se compone por tres ítems: “La Empresa”, “El Producto” y “El Mercado”. Ésta se muestra a continuación:

### I. La Empresa

1. Nombre Empresa:
2. Año de inicio de operaciones de la empresa:
3. Nombre y cargo del entrevistado:
4. Fecha:
5. Tipo Entrevista:
  - a. ....Personal.
  - b. ....Telefónica.
  - c. ....Mail.
  - d. ....Otro.
6. Tamaño de la empresa según ventas anuales:
  - a. .... Grande (más de 100.001 UF/año).
  - b. .... Mediana (25.001 a 100.000 UF/año).
  - c. .... Pequeña (2.401 a 25.000 UF/año).
  - d. .... Micro (menos de 2.400 UF/año).
7. Medios de promoción/difusión mediante los cuales da a conocer la empresa:

Medio	Frecuencia				
	Anual	Semestral	Mensual	Semanal	Mayor frecuencia
Diario					
Página web					
Radio					
Exposicion/feria (cuáles)					
Otro					

8. Tipo de actividad relacionada con paneles solares (marque todas las alternativas que correspondan):
  - a. ....Fabricación.
  - b. ....Importación.
  - c. ....Distribución y Venta.
  - d. ....Instalación.
  - e. ....Otra.

### II. El Producto

1. Realiza Exportaciones de paneles solares? Qué cantidad [en m<sup>2</sup>/mes]? Detallar valores mensuales para los últimos 4 años en Planilla Excel según archivo adjunto “**hoja1: Exportaciones**”.
2. Principales países a los que se exporta:



3. Realiza Importaciones de paneles solares? Qué cantidad [en m<sup>2</sup>/año]? Detallar valores mensuales para los últimos 4 años en Planilla Excel según archivo adjunto "**hoja2: Importaciones**".
4. Principales países de los que se importa:
5. Cuánta es la producción de la empresa en paneles solares? Detallar valores mensuales para los últimos 4 años en Planilla Excel según archivo adjunto "**hoja3: Producción**".
6. Compra paneles solares terminados a empresas chilenas? En qué cantidad [en m<sup>2</sup>/año]?

Año	Térmico (de calentamiento de agua)	Fotovoltaico (generación de electricidad)
2004		
2005		
2006		
2007		

7. Promedio de vida útil y frecuencia de mantención de panel solar:

	Térmico	Fotovoltaico
Promedio Vida útil [años]		
Frecuencia Mantención		

8. Sector a utilizar los paneles solares (marque con una cruz en la(s) casilla(s) que corresponda):

Sector	Térmico	Fotovoltaico
Rural		
Urbano		

9. Distribución de las ventas [en m<sup>2</sup>] año 2007:

Zona	Térmico	Fotovoltaico
Norte Grande (Regiones XV, I, II)		
Norte Chico (Regiones III, IV)		
Zona central (Regiones V, RM, VI, VII)		
Sur (Regiones VIII, IX, X, XIV)		
Extremo Sur (Regiones XI, XII)		
Extranjero		

10. Qué materiales utiliza principalmente para los paneles solares térmicos?

11. Cuál es el **precio** de venta de 1 m<sup>2</sup> de un panel solar (sin considerar IVA ni costo de instalación):

Tipo de Panel	Mínimo	Medio	Máximo
Térmico (Sistema completo: almacenamiento de agua, sistema de control, etc.)			
Fotovoltaico			

12. Cuál es el **rendimiento** [%] del panel solar:

Tipo de Panel	Mínimo	Medio	Máximo
Térmico			
Fotovoltaico			

13. Cuál es el costo promedio de una instalación de un panel solar?

Térmico	Fotovoltaico

14. Cuál es el costo de mantenimiento anual de un panel solar de 1 m<sup>2</sup>?

Térmico	Fotovoltaico

15. Qué tipo de garantía da la Empresa al consumidor, una vez instalado el panel solar?

16. Qué tipo de servicio post venta ofrece?

17. En qué porcentaje se venden los distintos tipos de paneles solares:

- Fotovoltaico:
- Térmico:

18. Cuáles cree que son las limitaciones que han dificultado una mayor expansión de los paneles solares en el país?

19. Qué ventajas y desventajas encuentra a los paneles solares?

20. Posee estadísticas de operación de las garantías y reparaciones de los equipos que ha comercializado?

21. Cual es la estadísticas de fallas de los paneles solares térmicos que ha comercializado/instalado agrupadas por las 3 principales causas:

Nº Ocurencias	Equipo o artefacto que falló	Descripción de la falla y su causa aparente

### III. El Mercado

1. Cuántas han sido las ventas de la empresa en paneles solares en los años [en m<sup>2</sup>]: Detallar valores mensuales para los últimos 4 años en Planilla Excel según archivo adjunto "**hoja4: Ventas**".

2. Cuál es la proyección de ventas de la empresa para el año 2009 [% anual]?

Térmico [%]	Fotovoltaico [%]

3. En cuánto estima el crecimiento del mercado [% anual] para los años 2010, 2011 y desde año 2012 hasta año 2020?

Año	Térmico	Fotovoltaico
Desde 2009 a 2010		
Desde 2010 a 2011		
Desde 2012 hasta año 2020		

4. Como ve este mercado para los próximos 5 años:

- .....Mucho crecimiento.
- .....Crecimiento.
- .....Estancado.
- .....Decrecimiento.

5. En cuántos años estima el plazo de amortización del producto?

Térmico	Fotovoltaico

6. Qué porcentaje de las ventas de paneles solares térmicos va dirigida a los sectores [en % sobre la superficie total instalada]:

- Piscina:
- Agua sanitaria residencial:
- Agua sanitaria de empresas o instituciones como: hospitales, escuelas, hoteles u otras:
- Sector industrial:
- Otro:

7. Cuántos m<sup>2</sup> de paneles solares es destinada a:

Sector	Panel solar Térmico [m <sup>2</sup> ]					Total
	Plano sin cubierta	Plano con cubierta	Plano al vacío	Concentrador parabólico	Helióstato	
Vivienda particular						
Empresas o Instituciones como colegios, hospitales, hoteles						
Otras empresas e industrias: ¿de qué rubro?						

Sector	Panel solar Fotovoltaico [m <sup>2</sup> ]				Total
	Células Monocristalina	Células Policristalinas	Silicio Amorfo	Otro	
Vivienda particular					
Empresas o Instituciones como colegios, hospitales, hoteles					
Otras empresas e industrias: ¿de qué rubro?					

8. Dentro de "Vivienda particular", cuántos m<sup>2</sup> de paneles solares es destinada a:

Vivienda Particular	Térmico	Fotovoltaico
Departamento urbano sector		
Casa sector urbano		
Condominios urbano sector		
Sector rural		

9. Dentro de "Empresas o Instituciones", cuántos m<sup>2</sup> de paneles solares es destinada a:

Empresas o Instituciones	Térmico	Fotovoltaico
Colegios, Escuelas		
Postas, Hospitales		
Clubes deportivos		
Hoteles, Moteles		
Otro:		

### 12.9 Anexo 9: Cantidad de m<sup>2</sup> necesarios per cápita según mes para RM

La siguiente tabla muestra la radiación media diaria recibida en la Región Metropolitana para los diferentes meses del año y en la última fila se ven los metros cuadrados necesarios para satisfacer las necesidades de una persona que utilice 50 litros de agua caliente al día y requiera elevar la temperatura del agua en 40°C.

Radiación RM	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
[kWh/m <sup>2</sup> ] día	6,4	5,9	4,8	3,4	2,3	1,7	2	2,9	4,1	5	6	6,1
<b>m<sup>2</sup></b>	<b>0,73</b>	<b>0,79</b>	<b>0,97</b>	<b>1,37</b>	<b>2,02</b>	<b>2,74</b>	<b>2,33</b>	<b>1,60</b>	<b>1,13</b>	<b>0,93</b>	<b>0,78</b>	<b>0,76</b>

Tabla 37: Cantidad de m<sup>2</sup> necesarios por persona para los diferentes meses en RM.

Fuente: Radiación mensual obtenida de archivo solarimétrico nacional elaborado por la Universidad Técnica Federico Santa María.

### 12.10 Anexo 10: Predicción de la electricidad consumida al año 2020 en Chile

Año	Billones de kWh	Año	Billones de kWh, predicción	de Valores reales de 2000 a 2005 en Billones de kWh
1980	10,4	2000	36,6	38,1
1981	10,8	2001	39,6	40,6
1982	10,6	2002	42,7	42,2
1983	10,8	2003	46,0	45,9
1984	11,6	2004	49,4	47,6
1985	12,1	2005	53,0	48,3
1986	12,9	2006	56,7	
1987	13,3	2007	60,7	
1988	14,3	2008	64,7	
1989	15,5	<b>2009</b>	<b>69,0</b>	
1990	17,6	2010	73,3	
1991	16,0	2011	77,9	
1992	17,9	2012	82,6	
1993	18,4	2013	87,5	
1994	20,0	2014	92,5	
1995	24,4	2015	97,7	
1996	27,2	2016	103,0	
1997	29,7	2017	108,6	
1998	31,3	2018	114,2	
1999	34,4	2019	120,1	
		<b>2020</b>	<b>126,0</b>	

### 12.11 Anexo 11: Proyección superficie panel solar térmico, distintos modelos

Período	Año <sup>1</sup>	Año ajustado <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> real ajustado <sup>3</sup>	Lineal [m <sup>2</sup> ]	Cuadrático [m <sup>2</sup> ]	Cúbico [m <sup>2</sup> ]	Potencia [m <sup>2</sup> ]	Crec. y Comp. [m <sup>2</sup> ]	Exp. [m <sup>2</sup> ]
1	1998	2004	3.140	3.065	2.829	3.073	2.879	3.328	3.328
2	1999	2005	3.790	4.405	4.452	4.111	4.548	4.194	4.194
3	2000	2006	6.340	5.745	5.934	5.739	5.943	5.286	5.286
4	2001	2007	6.905	7.085	7.274	7.469	7.185	6.663	6.663
5	2002	2008	9.076	8.425	8.472	8.813	8.324	8.397	8.397
6	2003	2009	9.237	9.765	9.529	9.285	9.388	10.583	10.583
7	2004	2010	10.982	11.105	10.444	8.397	10.392	13.339	13.339
8	2005	2011	12.940	12.445	11.218	5.660	11.349	16.812	16.812
9	2006	2012	20.978	13.785	11.851	588	12.266	21.189	21.189
10	2007	2013	31.304	15.125	12.341	-7.307	13.149	26.705	26.705
11		2014		16.465	12.691	-18.512	14.002	33.658	33.658
12		2015		17.805	12.898	-33.516	14.829	42.421	42.421
13		2016		19.145	12.965	-52.806	15.633	53.466	53.466
14		2017		20.485	12.889	-76.869	16.416	67.386	67.386
15		2018		21.825	12.672	-106.192	17.181	84.931	84.931
16		2019		23.166	12.314	-141.264	17.928	107.043	107.043
17		2020		24.506	11.814	-182.572	18.659	134.912	134.912

Tabla 38: Detalle proyección al año 2020, superficie panel solar térmico instalada en Chile para distintos modelos.

<sup>1</sup>Año corresponde al año del que fueron tomados los datos de España.

<sup>2</sup>Año ajustado corresponde a corregir el desfase existente entre la cantidad instalada en Chile y España. Se puede ver que el año 2001 se instalaron en España la misma cantidad de m<sup>2</sup> que el año 2007 en Chile.

<sup>3</sup>m<sup>2</sup> real ajustado es la superficie instalada en España ajustada por población, PIB y radiación a Chile.

### 12.12 Anexo 12: Iteraciones método Delphi

La principal pregunta de la encuesta realizada para el método Delphi fue: Indicar el crecimiento esperado para los paneles solares, en ciertos rangos de tiempo. La siguiente tabla muestra la evolución de la varianza en las tres iteraciones, para las preguntas realizadas.

Pregunta	it 1	it 2	it 3
Desde año 2008 a 2009	0,062	0,043	0,043
Desde año 2009 a 2010	13,603	2,495	1,068
Desde año 2010 a 2011	0,026	0,023	0,012
Entre 2011 y 2014	0,060	0,009	0,005
Desde 2015 hasta año 2020	0,066	0,054	0,040

Tabla 39: Varianza para iteraciones de método Delphi.

### 12.13 Anexo 13: Ciclo de vida del producto

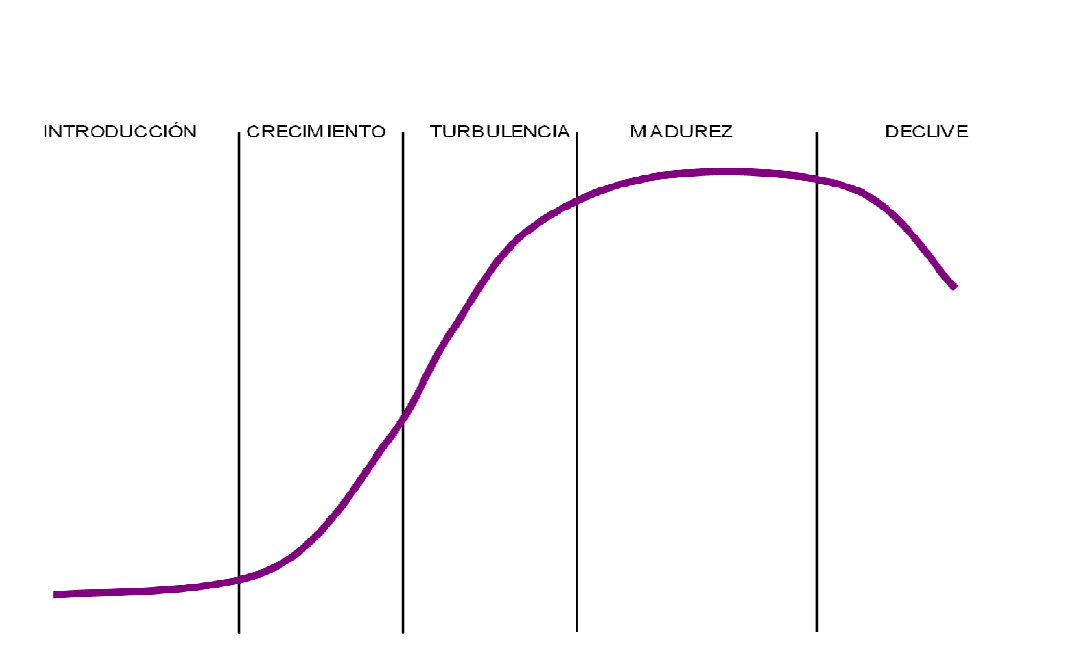


Gráfico 34: Ciclo de vida del producto.  
Fuente: Adaptado de Lambin (1995) por Máximo Bosch.